



**TUGAS AKHIR - TM 091585**

**STUDI EKSPERIMEN PROSES *INTERRUPTED QUENCHING* PADA *FRICTION WEDGE* DENGAN VARIASI WAKTU *INTERRUPTED QUENCHING***

NEVA DWI PRASTIWI  
NRP.2113105011

Dosen Pembimbing  
Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA

Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya  
2015



**FINAL PROJECT - TM 091585**

**EXPERIMENTAL STUDY OF INTERRUPTED  
QUENCHING PROCESS ON FRICTION WEDGE WITH  
INTERRUPTED QUENCHING TIME VARIANT**

**NEVA DWI PRASTIWI  
NRP.2113105011**

**Academic Supervisor  
Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA**

**Mechanical Engineering Department  
Faculty of Industrial Technology  
Sepuluh Nopember Institute of Technology  
Surabaya  
2015**

**STUDI EKSPERIMEN PROSES *INTERRUPTED*  
*QUENCHING* PADA *FRICTION WEDGE* DENGAN  
VARIASI WAKTU *INTERRUPTED QUENCHING***

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi Metalurgi  
Program Studi S-1 Jurusan Teknik Mesin  
Fakultas Teknologi Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

**Oleh:**

**NEVA DWI PRASTIWI  
NRP. 2113 105 011**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Dr. Ir. H.C Kis Agustin, DEA ..... (Pembimbing)  
(NIP. 196308151989032001)
2. Indra Sidharta, ST., M.Sc. ..... (Penguji 1)  
(NIP. 198006192006041004)
3. Suwarno, ST., M.Sc., Ph.D. ..... (Penguji II)  
(NIP. 198005202005011002)
4. Wahyu Wijanarko, ST., M.Sc. ..... (Penguji III)  
(NIP. 198202092012121001)

**SURABAYA  
Juli 2015**

# **STUDI EKSPERIMEN PROSES *INTERRUPTED QUENCHING* PADA *FRICTION WEDGE* DENGAN VARIASI WAKTU *INTERRUPTED QUENCHING***

Nama : Neva Dwi Prastiwi  
NRP : 2113105011  
Dosen : Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA

## **Abstrak**

AISI 1340 merupakan salah satu jenis baja paduan rendah yang memiliki komposisi kimia 0,43% C, 1,76% Mn, 0,035% P (max), 0,04% S (max), 0,27% Si. Aplikasi dari baja AISI 1340 digunakan dalam komponen kereta api yaitu *friction wedge*. Dalam hal ini, *friction wedge* berfungsi sebagai *damper*/peredam kereta, sehingga harus mempunyai sifat kekerasan dan ketahanan aus yang tinggi.

Penelitian ini dilakukan dengan *heat treatment interrupted quenching* dimulai dengan pembentukan material menjadi bentuk spesimen uji *impact* dan uji keausan, dan dilakukan pemanasan dalam furnace hingga temperatur austenisasi 830 °C dengan waktu tahan 2 jam. Setelah proses austenisasi spesimen dikeluarkan dari dalam dapur dan ditahan di udara dengan masing-masing variasi waktu *interrupted* selama 5, 20 dan 30 detik untuk kemudian di *quench* dalam larutan pendingin oli. Setelah proses tersebut, material diuji kekerasan, uji *metallography*, uji *impact* dan uji keausan.

Hasil dari penelitian didapatkan bahwa spesimen dengan variasi waktu *interrupted* 20 detik adalah waktu *interrupted* yang tepat. Hasil pengujian *impact* dan kekerasan menghasilkan peningkatan *impact strength* dan peningkatan kekerasan tertinggi yaitu dengan kenaikan 24,97 % dan 65,22 %. Berdasarkan hasil uji keausan, keseluruhan permukaan spesimen tidak aus seluruhnya, hanya pada tepi spesimen. Sehingga, pada pengujian keausan perlu dievaluasi lebih lanjut.

Kata kunci : AISI 1340, *friction wedge*, *interrupted quenching*, *impact strength*, kekerasanpermukaan, laju keausan.

# **EXPERIMENTAL STUDY OF INTERRUPTED QUENCHING PROCESS ON FRICTION WEDGE WITH INTERRUPTED QUENCHING TIME VARIANT**

Name : Neva Dwi Prastiwi  
NRP : 2113105011  
Lecturer : Dr. Ir. H.C. Kis Agustin, DEA

## **Abstract**

AISI 1340 is one kind of low alloy steel which have a chemical composition of 0.43% C, 1.76% Mn, 0.035% P (max), 0.04% S (max), 0.27% Si. For applications from AISI 1340 steel friction wedge in train component. For this case, the function of friction wedge is for the damper of the train, so that must be have a hardness and high hardness characteristic.

This study is done with heat treatment interrupted quenching started with warming on furnace until austenite temperature 830 °C with 2 hours' time. And then from the austenite temperature the specimen taken out from the furnace and held in the air with each time interrupted variety for 5, 20, and 30 second and then quenched on the cold liquid in this case is oil. After that process, the hardness test, metallography test, impact test, and wear test is given to the materials.

The result of this study is the specimen with 20 second interrupted time variety is the best interrupted time. The result of impact and hardness shown increasing of strength impact and hardness, highest value is 24, 97 % and 65, 22 %. According to the hardness result, all of the specimen surface is not hardness at all, just on the sides of the specimen. So in the hardness result need more study and evaluation again.

Key words: AISI1340,frictionwedge, interruptedquenching, impact strength, surface hardness, wear rate.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur atas rahmat dan karunia Allah SWT sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini sebagai persyaratan akademis untuk mendapat gelar Sarjana Teknik, pada bidang studi Metalurgi, jurusan Teknik Mesin, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir ini tidak mungkin terlaksana dengan baik tanpa adanya bantuan dan kerjasama semua pihak, unruk itu penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Orang tuaku, dan kakakku (Neri Damayanti) yang memberikan dukungan moral dan material sehingga tugas akhir ini dapat selesai.
2. Partner TA saya (Azhar Ashari) yang banyak membantu dalam menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. H.C. Kis Agustin, DEA selaku pembimbing Tugas Akhir yang banyak memberikan bimbingan serta masukan.
4. Bapak Ir. Yunarko Triwinarno, MT selaku dosen wali.
5. Bapak dan Ibu Dosen selaku staf pengajar Jurusan Teknik Mesin yang telah memberikan ilmu dan wawasan.
6. Karyawan laboratorium Metalurgi Teknik Mesin (Pak Endang, Pak Sumantri, Mas Agus dan Pak Gatot) yang telah banyak membantu dalam menyelesaikan pembuatan spesimen dan membantu dalam pengujian.
7. Bapak Beny Andika, ST selaku staff PT. Barata Indonesia di Gresik yang banyak memberikan bimbingan dan bantuan dalam memperoleh material.
8. Rekan-rekan seperjuangan anak Lintas Jalur yang banyak membantu dan memberikan dukungan terutama Dwina, Ferry, Septi, mas Agung, Hendri, Asep, mas Yosef dan Ayu.
9. Teman-teman laboratorium Design Teknik Mesin yang bannyak membantu dalam menyelesaikan pengujian keausan.
10. Semua pihak yang telah terlibat dalam penyelesaian Tugas Akhir ini yang tidak mungkin disebutkan satu-persatu.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna. Untuk itu, penulis mengharapkan adanya penyempurnaan lebih lanjut oleh pihak yang berkepentingan agar Tugas Akhir ini bisa lebih dikembangkan.

Surabaya, Juli 2015

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>vi</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vii</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xvi</b>
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	 <b>1</b>
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah .....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat Penelitian.....	3
 <b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	 <b>5</b>
2.1 Baja.....	5
2.1.1 Baja Karbon ( <i>Plain Carbon Steel</i> ).....	5
2.1.2 Baja Paduan ( <i>Alloy Steel</i> ) .....	6
2.2 Baja AISI 1340 .....	6
2.2.1 I-T Diagram AISI 1340 .....	7
2.3 <i>Bogie</i> .....	9
2.4 <i>Friction Wedge</i> .....	12
2.5 Perlakuan Panas.....	14
2.6 <i>Quenching</i> .....	14
2.6.1 <i>Media Quenching</i> .....	16
2.6.2 <i>Interrupted Quenching</i> .....	17
2.7 Pengujian .....	19
2.7.1 Pengujian <i>Impact</i> .....	19
2.7.2 Pengujian Kekerasan .....	21
2.7.3 Pengujian Keausan .....	22

<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>27</b>
3.1 Diagram Alir Penelitian .....	27
3.2 Material.....	28
3.3 Proses Perlakuan Panas.....	29
3.4 Peralatan yang Digunakan .....	31
3.5 Pengujian .....	35
3.5.1 Pengujian <i>Impact</i> .....	36
3.5.2 Pengujian Kekerasan .....	36
3.5.3 Pengujian Keausan.....	37
3.5.4 Pengamatan Struktur Mikro.....	39
 <b>BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....</b>	 <b>41</b>
4.1 Pengujian Impact .....	41
4.1.1 Data Hasil Pengujian Impact .....	41
4.1.2 Pembahasan Pengujian Impact pada Spesimen Uji .....	44
4.1.3 Pola Patahan pada Spesimen Uji .....	47
4.2 Pengujian Kekerasan Vickers pada Permukaan Spesimen .....	48
4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> pada Permukaan Spesimen .....	48
4.2.2 Pembahasan Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> pada Permukaan Spesimen .....	51
4.3 Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> pada Penampang Spesimen .....	53
4.3.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> pada Penampang Spesimen.....	53
4.3.2 Pembahasan Pengujian Kekerasan <i>Vickers</i> pada Penampang Spesimen.....	57
4.4 Pengujian Keausan.....	58
4.4.1 Data Hasil Pengujian Keausan pada Spesimen Uji .....	58

4.4.2 Pembahasan Pengujian Keausan pada Spesimen Uji .....	60
4.4.3 Pola Keausan Pada Spesimen Uji .....	62
4.5 Pengamatan Struktur Mikro.....	64
4.6 Hubungan Waktu <i>Interrupted Quenching</i> Terhadap Pengujian <i>Impact</i> , Kekerasan dan Keausan .....	67
<b>BAB V KESIMPULAN.....</b>	<b>69</b>
5.1 Kesimpulan.....	69
5.2 Saran .....	70
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>xviii</b>
<b>LAMPIRAN</b>	

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Komposisi kimia baja AISI 1340.....	6
<b>Tabel 3.1</b>	Komposisi kimia baja AISI 1340 dari hasil uji komposisi.....	28
<b>Tabel 3.2</b>	Karakteristik oli Mesran SAE 20W.....	31
<b>Tabel 4.1</b>	Data hasil pengujian <i>impact</i> pada spesimen <i>as cast</i> , <i>as quench</i> dan spesimen dengan variasi waktu <i>interrupted quenching</i> .....	42
<b>Tabel 4.2</b>	Hasil pengujian energi <i>impact</i> dan <i>impact strength</i> pada <i>as cast</i> , <i>as quench</i> dan spesimen variasi waktu <i>interrupted quenching</i> .....	44
<b>Tabel 4.3</b>	Hasil pengujian kekerasan permukaan pada spesimen <i>as cast</i> , <i>as quench</i> dan spesimen variasi waktu <i>interrupted quenching</i> .....	49
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil pengujian kekerasan penampang pada spesimen <i>as cast</i> , <i>as quench</i> dan spesimen variasi waktu <i>interrupted quenching</i> .....	54
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil pengujian keausan pada spesimen <i>as cast</i> , <i>as quench</i> dan spesimen variasi waktu <i>interrupted quenching</i> .....	59
<b>Tabel 4.6</b>	Laju keausan pada spesimen <i>as cast</i> , <i>as quench</i> dan spesimen variasi waktu <i>interrupted quenching</i> .....	60
<b>Tabel 4.7</b>	Pengamatan struktur mikro pada penampang dan permukaan spesimen uji.....	65

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Konstruksi <i>Bogie</i> .....	1
<b>Gambar 2.1</b>	Kurva Jominy baja AISI 1340 [7].....	7
<b>Gambar 2.2</b>	I-T Diagram baja AISI 1340.....	8
<b>Gambar 2.3</b>	Struktur mikro martensit (a) 180°C; (b) 175°C [5].....	9
<b>Gambar 2.4</b>	Kereta gandar 2 dan kereta ber- <i>Bogie</i> [10].....	9
<b>Gambar 2.5</b>	<i>Bogie Steering</i> : tanpa <i>bogie</i> (atas), dengan <i>bogie</i> (bawah) [11].....	12
<b>Gambar 2.6</b>	Peredaman ketidak rataan rel oleh <i>bogie</i> [11].....	11
<b>Gambar 2.7</b>	Jenis <i>bogie</i> kereta penumpang [10].....	11
<b>Gambar 2.8</b>	Jenis <i>bogie</i> kereta barang [10].....	12
<b>Gambar 2.9</b>	Sistem suspensi pada <i>bogie</i> kereta barang.....	13
<b>Gambar 2.10</b>	Letak damper pada <i>bogie</i> .....	13
<b>Gambar 2.11</b>	Batas keausan <i>friction wedge</i> .....	14
<b>Gambar 2.12</b>	Daerah temperatur <i>quenching</i> .....	15
<b>Gambar 2.13</b>	Perbedaan kurva pendinginan (a) pendingin air; (b) pendingin oli [5].....	16
<b>Gambar 2.14</b>	Skema nukleasi dan pertumbuhan transformasi.....	16
<b>Gambar 2.15</b>	CCT diagram SS 2541 [3].....	18
<b>Gambar 2.16</b>	Profil kekerasan <i>tool steel</i> SS 2092 [3].....	19
<b>Gambar 2.17</b>	Skema pengujian <i>impact</i> (a) <i>izod</i> ; (b) <i>charpy</i> .....	19
<b>Gambar 2.18</b>	Indentor piramida intan pada pengujian <i>vickers</i> .....	23
<b>Gambar 2.19</b>	Pengamatan <i>micographs</i> keausan Abrasif.....	23
<b>Gambar 2.20</b>	Mekanisme keausan adesif.....	24
<b>Gambar 2.21</b>	Pengamatan <i>micographs</i> keausan Abrasif.....	24

<b>Gambar 2.22</b>	Mekanisme keausan abrasif.....	25
<b>Gambar 2.23</b>	Keausan lelah.....	25
<b>Gambar 2.24</b>	Mekanisme keausan lelah.....	25
<b>Gambar 3.1</b>	Diagram Alir Penelitian.....	28
<b>Gambar 3.2</b>	Friction wedge AISI 1340.....	29
<b>Gambar 3.3</b>	Dimensi <i>friction wedge</i> .....	29
<b>Gambar 3.4</b>	Spesimen uji <i>friction wedge</i> .....	30
<b>Gambar 3.5</b>	Skema proses <i>heat treatment</i> <i>interrupted quenching</i> .....	30
<b>Gambar 3.6</b>	Dapur pemanas ( <i>furnace</i> ).....	31
<b>Gambar 3.7</b>	Gergaji mesin dan <i>cutting wheel</i> .....	32
<b>Gambar 3.8</b>	Alat uji kekerasan <i>Vickers</i> .....	33
<b>Gambar 3.9</b>	Mesin <i>grinding</i> dan <i>polishing</i> .....	33
<b>Gambar 3.10</b>	Mesin uji <i>impact</i> .....	34
<b>Gambar 3.11</b>	Tribometer tipe <i>pin on disk</i> .....	35
<b>Gambar 3.12</b>	Dimensi standar uji impact	
<b>Gambar 3.13</b>	Lokasi titik indentasi pada spesimen uji (a) penampang (b) permukaan.....	36
<b>Gambar 3.14</b>	Dimensi standar uji keausan.....	39
<b>Gambar 3.15</b>	Daerah pengamatan struktur mikro pada (a) penampang; (b) permukaan.....	40
<b>Gambar 4.1</b>	Spesimen sebelum uji <i>impact</i> (a) dan spesimen setelah pengujian <i>impact</i> (b).....	41
<b>Gambar 4.2</b>	Grafik pengaruh variasi waktu <i>interrupted</i> terhadap <i>impact strength</i> spesimen uji.....	45
<b>Gambar 4.3</b>	Grafik rerata <i>impact strength</i> menggunakan aplikasi anova.....	46
<b>Gambar 4.4</b>	Pola patahan pada spesimen <i>as cast</i> .....	47
<b>Gambar 4.5</b>	Profil patahan pada spesimen uji kondisi (a) <i>Interr.</i> 5 detik (b) <i>Interr.</i> 20 detik (c) <i>Interr.</i> 30 detik (d) <i>As Quench</i> .....	47
<b>Gambar 4.6</b>	Lokasi pengujian kekerasan <i>vickers</i> pada permukaan spesimen.....	48
<b>Gambar 4.7</b>	Grafik pengaruh variasi waktu <i>interrupted</i> terhadap kekerasan permukaan pada	



	spesimen uji.....	51
<b>Gambar 4.8</b>	Grafik rerata kekerasan permukaan menggunakan aplikasi anova.....	52
<b>Gambar 4.9</b>	Lokasi pengujian kekerasan <i>vickers</i> pada penampang specimen.....	53
<b>Gambar 4.10</b>	Grafik pengaruh variasi waktu <i>interrupted</i> terhadap kekerasan penampang spesimen.....	57
<b>Gambar 4.11</b>	Grafik pengaruh variasi waktu <i>interrupted</i> terhadap laju keausan pada spesimen.....	61
<b>Gambar 4.12</b>	Grafik rerata laju keausan menggunakan aplikasi anova.....	62
<b>Gambar 4.13</b>	Lokasi pengamatan struktur mikro (a) penampang ; (b) permukaan.....	64
<b>Gambar 4.14</b>	I-T diagram baja AISI 1340 dengan waktu <i>interrupted quenching</i> .....	67

*(Halaman Ini Sengaja Dikosongkan)*

## LAMPIRAN 1

### One-way ANOVA: As Cast; Interrupted 5 s; Interrupted 20 s; Interrupted 30 s; As Quench

#### Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

#### Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	5	As Cast; Interrupted 5 s; Interrupted 20 s; Interrupted 30 s; As Quench

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	0,001347	0,000337	1,60	0,250
Error	10	0,002110	0,000211		
Total	14	0,003458			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0145273	38,97%	14,55%	0,00%

#### Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
As Cast	3	0,06881	0,00834	(0,05013; 0,08750)

Interrupted 5 s	3	0,0910	0,0186	( 0,0724; 0,1097)
Interrupted 20 s	3	0,09172	0,01618	(0,07304; 0,11041)
Interrupted 30 s	3	0,07182	0,01452	(0,05313; 0,09050)
As Quench	3	0,08167	0,01285	(0,06298; 0,10035)

Pooled StDev = 0,0145273

## LAMPIRAN 2

### One-way ANOVA: As cast; Interrupted 5s; Interrupted 20s; Interrupted 30s; As quench

#### Method

Null hypothesis                      All means are equal  
Alternative hypothesis      At least one mean is different  
Significance level                       $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

#### Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	5	As cast; Interrupted 5s; Interrupted 20s; Interrupted 30s; As quench

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	345326	86331,6	1175,29	0,000
Error	10	735	73,5		
Total	14	346061			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
8,57063	99,79%	99,70%	99,52%

#### Means

Factor	N	Mean	StDev	95% CI
As cast	3	218,47	4,68	( 207,44; 229,49)
Interrupted 5s	3	577,40	15,22	( 566,38; 588,43)

Interrupted 20s	3	628,23	7,33	( 617,20; 639,25)
Interrupted 30s	3	607,993	0,144	(596,968; 619,019)
As quench	3	558,14	7,75	( 547,12; 569,17)

Pooled StDev = 8,57063

## LAMPIRAN 3

### General Linear Model: Kekerasan versus Spesimen; Lokasi Titik

Method

Factor coding (-1; 0; +1)

Factor Information

Factor	Type	Levels	Values
Spesimen	Fixed	5	as cast; As quench; interr. 20 s; interr. 30 s; interr. 5 s
Lokasi Titik	Fixed	11	1a; 1b; 2a; 2b; 3a; 3b; 4a; 4b; 5a; 5b; 6

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Spesimen	4	1082461	270615	655,13	0,000
Lokasi Titik	10	2809	281	0,68	0,736
Error	40	16523	413		
Total	54	1101793			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
20,3242	98,50%	97,98%	97,16%

Coefficients

Term	Coef	SE Coef	T-Value	P-Value
VIF				
Constant	497,36	2,74	181,48	0,000
Spesimen				
as cast	-280,19	5,48	-51,12	0,000
1,60				

As quench	59,56	5,48	10,87	0,000
1,60				
interr. 20 s	79,90	5,48	14,58	0,000
1,60				
interr. 30 s	76,22	5,48	13,91	0,000
1,60				
Lokasi Titik				
1a	-14,45	8,67	-1,67	0,103
1,82				
1b	9,35	8,67	1,08	0,287
1,82				
2a	-4,37	8,67	-0,50	0,617
1,82				
2b	3,61	8,67	0,42	0,679
1,82				
3a	0,93	8,67	0,11	0,915
1,82				
3b	1,70	8,67	0,20	0,846
1,82				
4a	-5,79	8,67	-0,67	0,508
1,82				
4b	12,81	8,67	1,48	0,147
1,82				
5a	-2,12	8,67	-0,25	0,808
1,82				
5b	2,79	8,67	0,32	0,750
1,82				

#### Regression Equation

Kekerasan = 497,36 - 280,19 Spesimen\_as cast  
 + 59,56 Spesimen\_As quench  
     + 79,90 Spesimen\_interr. 20 s  
 + 76,22 Spesimen\_interr. 30 s  
     + 64,51 Spesimen\_interr. 5 s -  
 14,45 Lokasi Titik\_1a + 9,35 Lokasi Titik\_1b  
     - 4,37 Lokasi Titik\_2a  
 + 3,61 Lokasi Titik\_2b + 0,93 Lokasi Titik\_3a  
     + 1,70 Lokasi Titik\_3b -  
 5,79 Lokasi Titik\_4a + 12,81 Lokasi Titik\_4b  
     - 2,12 Lokasi Titik\_5a  
 + 2,79 Lokasi Titik\_5b - 4,44 Lokasi Titik\_6



## Fits and Diagnostics for Unusual Observations

Obs	Kekerasan	Fit	Resid	Std Resid	
5	163,6	215,0	-51,5	-2,97	R

R Large residual

## LAMPIRAN 4

### One-way ANOVA: As Cast; Interrupted 5 de; Interrupted 20 d; Interrupted 30 d; As Quench

#### Method

Null hypothesis All means are equal  
Alternative hypothesis At least one mean is different  
Significance level  $\alpha = 0,05$

Equal variances were assumed for the analysis.

#### Factor Information

Factor	Levels	Values
Factor	5	As Cast; Interrupted 5 detik;
Interrupted 20 detik; Interrupted 30 detik; As		Quench

#### Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Factor	4	0,000000	0,000000	2,59	0,101
Error	10	0,000000	0,000000		
Total	14	0,000000			

#### Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0,0000016	50,88%	31,23%	0,00%

#### Means

Factor	N	Mean	StDev
95% CI			
As Cast	3	0,000002	0,000001
(-0,000000; 0,000004)			

Interrupted 5 detik	3	0,000002	0,000001	(-
0,000000; 0,000004)				
Interrupted 20 detik	3	0,000003	0,000001	(
0,000001; 0,000005)				
Interrupted 30 detik	3	0,000005	0,000003	(
0,000003; 0,000007)				
As Quench	3	0,000004	0,000000	(
0,000002; 0,000006)				

Pooled StDev = 1,572632E-06

## LAMPIRAN 5

## 56 Materials testing

**Table 2.2 Conversion table for hardness—ultimate tensile strength of steel. (Not valid for austenitic or cold-worked steel)**

Hardness					Tensile strength					Hardness					Tensile strength					Hardness				
HV	HRB	HB	kp/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	HV	HRC	HB	kp/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	HV	HRC	HB	kp/mm <sup>2</sup>	N/mm <sup>2</sup>	HV	HRC	HR 30N							
100	57.0	95	33	325	400	40.8	380.0	130	1275	700	60.1	77.6												
110	62.0	105	36	355	410	41.8	389.5	134	1315	710	60.5	78.0												
120	67.0	114	39	380	420	42.7	399.0	137	1345	720	61.0	78.4												
130	71.0	124	43	420	430	43.6	408.5	141	1385	730	61.4	78.7												
140	75.1	133	46	450	440	44.5	418.0	144	1410	740	61.8	79.1												
150	78.8	143	49	480	450	45.3	423	147	1440	750	62.1	79.4												
160	82.1	152	52	510	460	46.1	432	150	1470	760	62.5	79.7												
170	85.0	162	55	540	470	46.9	442	153	1500	770	62.9	80.0												
180	87.3	171	58	570	480	47.7	450	156	1530	780	63.3	80.4												
190	89.6	181	62	600	490	48.4	456	160	1570	790	63.6	80.7												
200	91.8	190	65	635	500	49.1	466	164	1610	800	64.0	81.1												
210	93.7	200	68	670	510	49.8	475	168	1640	810	64.3	81.4												
220	95.5	209	71	695	520	50.5	483	172	1680	820	64.7	81.7												
230	97.0	219	74	725	530	51.1	492	176	1725	830	65.0	81.9												
240	HRC	228	77	755	540	51.7	500	180	1765	840	65.3	82.2												
250	22.2	238	80	785	550	52.3	509	184	1805	850	65.6	82.5												
260	24.0	247	84	825	560	53.0	517	188	1845	860	65.9	82.7												
270	25.6	257	87	855	570	53.6	526	193	1890	870	66.1	82.9												
280	27.1	266	90	880	580	54.1	535	198	1940	880	66.4	83.1												
290	28.5	276	94	920	590	54.7	543	203	1990	890	66.7	83.3												
300	29.8	285	97	950	600	55.2	552			900	67.0	83.6												
310	31.0	295	101	990	610	55.7	560			910	67.2	83.8												
320	32.2	304	104	1020	620	56.3	569			920	67.5	84.0												
330	33.3	314	107	1050	630	56.8	577			930	67.8	84.2												
340	34.4	323	110	1080	640	57.3	586			940	68.0	84.4												
350	35.5	333	114	1115	650	57.8				950	68.4	84.6												
360	36.6	342	117	1150	660	58.3				960	68.7	84.8												
370	37.7	352	120	1175	670	58.8				970	69.0	85.0												
380	38.8	361	123	1205	680	59.2				980	69.3	85.2												
390	39.8	370	127	1245	690	59.7				1000	69.9	85.6												

**Table 2.3 Conversion of diamond pyramid hardness (HV) to Rockwell C (HRC) and different Shore values**

Rockwell C (R C)	Diamond pyramid hardness (HV)	Shore			
		Roll calibration		Standard calibration	
		C	D	C	D
45.0	450	68	73	65	67
49.0	500	72	78	69	72
52.5	550	76	82	73	76
55.0	600	79	86	76	80
58.0	650	83	90	80	84
60.5	700	87	93	84	88
61.0	720	89	95	86	90
62.0	740	91	96	88	91
62.5	760	92	98	89	92
63.5	780	94	99	91	94
64.0	800	95	100	92	95
64.5	820	97	101	94	97
65.0	840	98	103	95	98
66.0	860	100	104	97	100
66.5	880	102	105	99	101
67.0	900	103	106	101	103
67.5	920	105	—	—	—

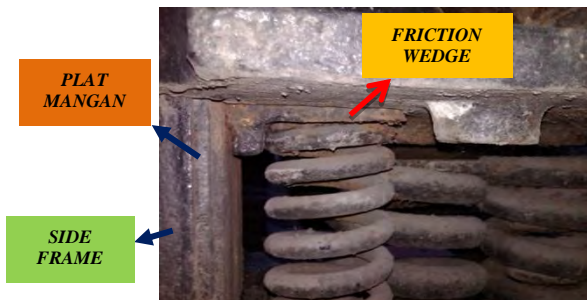
# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Baja merupakan logam yang banyak digunakan untuk berbagai macam kebutuhan, salah satunya dimanfaatkan sebagai pembuatan konstruksi kereta api. *Bogie* merupakan suatu bagian konstruksi kereta api yang berfungsi menopang gerbong kereta api. *Bogie* terdiri dari dua perangkat roda (*wheelset*) yang digabungkan oleh rangka/*frame* dengan dilengkapi sistem peredam beban kejut dan pengereman. Pada sistem peredam beban kejut, terdapat pegas dan sebuah *friction wedge* yang berguna untuk menahan guncangan atau kejutan-kejutan kereta api.

Dalam pengaplikasiannya, *friction wedge* terbuat dari AISI 1340 dan dirancang sebagai peredam beban kejut/*damper* yang bergesekan langsung dengan *side frame* yang dilapisi oleh sebuah plat mangan (gambar 1.1).



**Gambar 1.1 Konstruksi bogie**

Karena sifat plat mangan yang tahan aus dan bila terkena gesekan secara terus-menerus akan menjadi semakin keras (*self-renewing surface*) sehingga *friction wedge* cepat mengalami keausan dan *life-time friction wedge* akan menjadi lebih pendek.

Dalam proses pengembangannya, telah dilakukan penelitian proses perlakuan panas dengan pengerasan (*hardening*) atau *quenching*. Salah satu jenis *quenching* yang dapat meningkatkan kekerasan dan mengontrol *hardenability* adalah *interrupted quenching* [3].

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian dari latar belakang, rumusan masalah dari penelitian ini adalah berapakah waktu *interrupted* yang tepat untuk melakukan *interrupted quenching* dan bagaimana pengaruh variasi waktu *interrupted* pada proses *interrupted quenching* terhadap sifat kekerasan, ketahanan aus, struktur mikro dan ketangguhan *friction wedge*.

## 1.3 Batasan Masalah

Agar permasalahan yang akan di bahas bisa terkontrol, permasalahan dalam penelitian ini dibatasi sebagai berikut :

1. Komposisi material dianggap homogen.
2. Perlakuan panas yang digunakan adalah *hardening* dengan *heat rate* dianggap sama untuk setiap spesimen.
3. Hasil proses pengecoran *friction wedge* dianggap tidak ada cacat.
4. Kondisi peralatan yang digunakan saat pengujian dan pengambilan data telah terkalibrasi.

## 1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian *interrupted quenching* pada *friction wedge* ini bertujuan untuk :

1. Mengetahui waktu *interrupted* yang tepat pada proses *interrupted quenching*
2. Mengetahui pengaruh variasi waktu *interrupted* pada proses *interrupted quenching* terhadap sifat kekerasan, ketahanan aus, struktur mikro dan ketangguhan *friction wedge*.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari penelitian ini akan diaplikasikan pengetahuan proses perlakuan panas tentang pengaruh variasi waktu *interrupted quenching* pada *friction wedge* AISI 1340. Selain itu, hasil hasil penelitian ini dapat digunakan sebagai acuan pengembangan industri komponen kereta api.



*(Halaman ini sengaja dikosongkan)*

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Baja**

Baja adalah logam paduan dengan besi sebagai unsur dasar dan karbon sebagai unsur paduan utamanya, dimana berat karbon tidak lebih dari 2%. Unsur paduan lain yang biasa ditambahkan selain karbon adalah mangan (*manganese*), krom (*chromium*) dan silikon (Si). Dengan memvariasikan kandungan karbon dan unsur paduan lainnya, berbagai jenis kualitas baja bisa didapatkan. Penambahan kandungan karbon pada baja dapat meningkatkan kekerasan (*hardness*), namun disisi lain membuatnya menjadi getas (*brittle*) serta menurunkan keuletannya (*ductility*).

Berdasarkan komposisi kimianya, baja dapat diklasifikasikan menjadi baja karbon (*plain carbon steel*) dan baja yang dicampur dengan unsur paduan yang disebut dengan baja paduan (*alloy steel*) [9].

##### **2.1.1 Baja Karbon**

Baja karbon atau *plain carbon steel* adalah paduan logam, kombinasi dari dua unsur yaitu besi (Fe) dan karbon (C), dimana jumlah unsur yang lain terlalu kecil untuk mempengaruhi sifatnya. Unsur paduan yang terdapat dalam baja karbon adalah *manganese*, silikon dan tembaga. Baja dengan kadar karbon rendah (kurang dari 0,1%) mempunyai sifat yang sama seperti besi, lunak tetapi mudah dibentuk. Semakin tinggi kadar karbon dalam baja, maka kekerasan dan kekuatan baja akan semakin tinggi, tetapi keuletannya menurun [9].

Baja banyak digunakan dalam konstruksi mesin karena mempunyai beberapa keunggulan :

- Ketersediaan biji besi yang melimpah di alam dan kemudahan teknologi untuk mengolah biji besi menjadi baja, membuat harga baja karbon relatif murah.

- Kekuatan baja karbon dapat divariasikan melalui proses perlakuan panas, sehingga dapat digunakan pada aplikasi yang membutuhkan kekuatan rendah hingga tinggi.
- Baja karbon mempunyai keuletan yang cukup baik, sehingga mudah dilakukan proses pemesinan [1].

### 2.1.2 Baja Paduan

Baja paduan didefinisikan sebagai suatu baja yang dicampur dengan satu atau lebih unsur campuran seperti nikel, *manganese*, *molybdenum*, kromium, vanadium dan wolfram yang berguna untuk memperoleh sifat-sifat baja yang dikehendaki seperti sifat kekuatan, kekerasan dan keuletannya [9].

Baja paduan mempunyai sifat mekanik yang lebih baik dari pada baja karbon karena terdapat unsur paduan selain karbon dalam jumlah tertentu. Pada baja paduan rendah (*low alloy steel*) total unsur paduannya antara 1 % - 4 %, sedangkan baja paduan tinggi (*high alloy steel*) total unsur paduannya lebih dari 10 % [1].

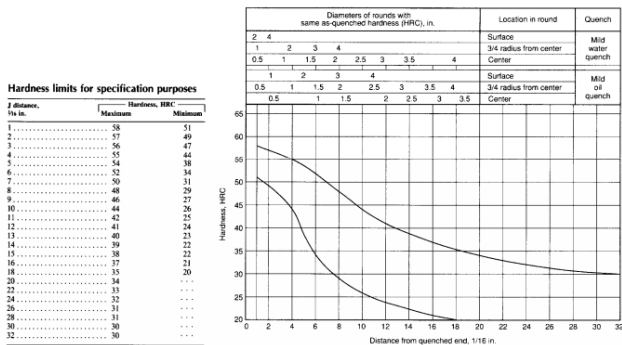
### 2.2 Baja AISI 1340

Baja AISI 1340 merupakan baja *manganese* dengan kandungan karbon 0,4 %. Dengan unsur Mangan (Mn) seberat 1,5-1,9% dapat meningkatkan *hardenability* suatu logam baja, menurunkan laju pendinginan sehingga mampu meningkatkan kekerasan baja dan *forgeability* (ketahanan terhadap deformasi) [2]. Komposisi kimia dari baja AISI 1340 dapat dilihat pada tabel 2.1

**Tabel 2.1** Komposisi kimia baja AISI 1340 [7]

AISI-SAE designation	UNS designation	Heat composition ranges and limits, %(a)					
		C	Mn	Si(b)	Cr	Ni	Mo
1330	G13300	0.27-0.34	1.50-1.90	0.15-0.30	...	...	...
1335	G13350	0.32-0.39	1.50-1.90	0.15-0.30	...	...	...
1340	G13400	0.36-0.44	1.50-1.90	0.15-0.30	...	...	...
1345	G13450	0.41-0.49	1.50-1.90	0.15-0.30	...	...	...
4118	G41180	0.17-0.23	0.60-0.90	0.15-0.30	0.40-0.65	...	0.08-0.15
4130	G41300	0.27-0.34	0.35-0.60	0.15-0.30	0.80-1.15	...	0.15-0.25
4135	G41350	0.32-0.39	0.65-0.95	0.15-0.30	0.80-1.15	...	0.15-0.25
4137	G41370	0.33-0.40	0.65-0.95	0.15-0.30	0.80-1.15	...	0.15-0.25
4140	G41400	0.36-0.44	0.70-1.00	0.15-0.30	0.80-1.15	...	0.15-0.25

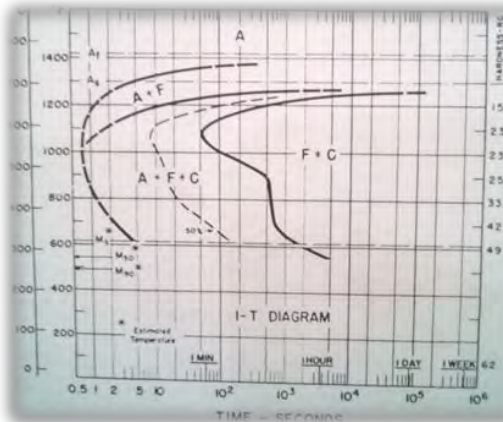
*Hardenability* merupakan kemampuan suatu baja untuk dikeraskan dengan pembentukan *martensite* melalui proses *quenching*. Karakteristik suatu baja memiliki *hardenability* tinggi akan ditunjukkan dengan kedalaman kekerasan yang dimiliki oleh suatu baja. Acuan yang digunakan untuk menentukan sifat *hardenability* adalah *Jominy end-quenched test*. Hasil *Jominy end-quenched test* pada baja AISI 1340 dapat dilihat pada gambar 2.1 [3].



**Gambar 2.1** Kurva Jominy baja AISI 1340 [7]

### 2.2.1 I-T Diagram AISI 1340

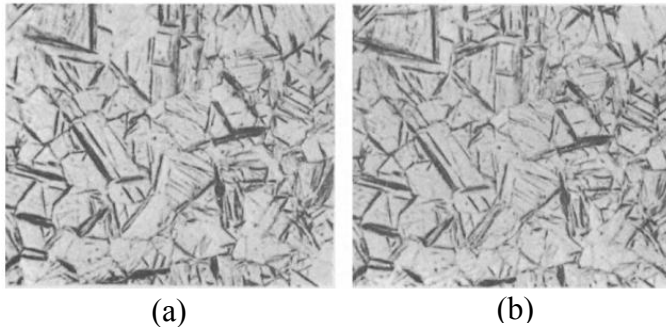
Diagram Transformasi Isothermal atau I-T diagram menunjukkan dimulainya dari transformasi austenit sampai penurunan temperatur terhadap fungsi waktu [4]. Gambar 2.2 merupakan diagram I-T diagram dari baja AISI 1340 :



### **Gambar 2.2** I-T Diagram baja AISI 1340

Dari gambar diatas tampak bahwa temperatur austenisasi baja AISI 1340 dimulai dari temperatur 700 °C. Pendinginan yang sangat lambat akan menghasilkan *coarse pearlite*/perlit kasar, untuk pendinginan yang lebih cepat akan menghasilkan *fine pearlit*/perlit halus. Pendinginan yang sangat cepat menghasilkan struktur sangat keras dan getas yang disebut *martensite*. Temperatur Ms (*martensite start*) baja AISI 1340 adalah 300 °C

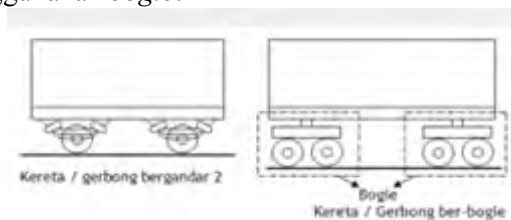
Struktur *martensite* bisa diperoleh apabila mencapai temperatur Ms dan selesai bertansformasi pada *martensite finish* (Mf). Ketika pendinginan berlangsung sangat cepat, sehingga austenit berada pada temperatur dibawah Ms, maka setelah terjadi pergeseran sejumlah atom yang mengubah FCC (*face centered cubic*) menjadi BCC (*body centered cubic*) tidak lagi terjadi difusi. Atom karbon yang seharusnya keluar dari larutan akan terperangkap dalam struktur baru yang disebabkan karena atom karbon tidak mempunyai energi untuk berdifusi karena temperatur yang sudah terlalu rendah. Akibatnya, menyebabkan struktur baru tersebut terdistorsi tidak menjadi BCC tetapi menjadi BCT (*body centered tetragonal*) yang diseebut sebagai *martensite*. Karena adanya karbon yang terperangkap, martensit menjadi tegang dan kekerasannya sangat tinggi tetapi getas [6]. Gambar 2.3 Merupakan struktur mikro martensit pada tempeatur 180°C dan 175°C.



**Gambar 2.3** Struktur mikro *martensite*  
(a) 180°C; (b) 175°C [5]

### 2.3 *Bogie*

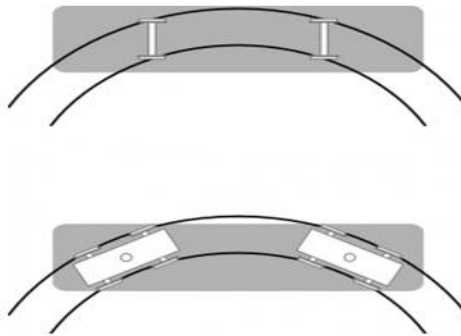
*Bogie* adalah suatu konstruksi yang terdiri dari dua perangkat roda atau lebih yang digabungkan oleh rangka yang dilengkapi dengan sistem suspensi, pengereman, dengan atau tanpa peralatan penggerak dan anti selip, serta keseluruhan yang berfungsi sebagai pendukung rangka dasar dari badan kereta. *Bogie* pada umumnya dipakai untuk roda yang jumlahnya lebih dari 2 gandar ( As ) dalam satu kereta, pada gambar 2.4 menunjukkan perbedaan antara kereta bergandar 2 dan kereta yang menggunakan *bogie*.



**Gambar 2.4** Kereta gandar 2 dan kereta ber-*Bogie* [10]

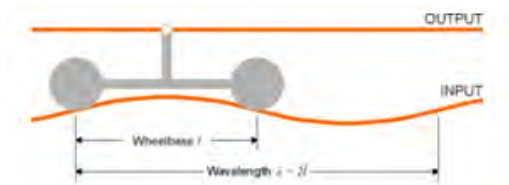
Fungsi utama *bogie* adalah menghasilkan fleksibilitas kereta terhadap rel sehingga roda dapat tetap mengikuti arah rel saat melewati tikungan. Saat kereta melewati rel yang membelok atau menikung, maka akan terjadi sudut antara garis lurus badan kereta dengan rel. Pada keadaan ini, akan terjadi kontak antara

*flens* dengan rel pada salah satu sisi rodanya. Pada kereta tanpa *bogie* maka sudut ini terbatas karena roda akan selalu segaris dengan badan kereta sehingga saat *flens* sudah tidak bisa menahan rel, maka roda akan naik ke atas rel dan akhirnya terjadi *derailment* atau anjlok. Dengan adanya *bogie*, maka roda tidak segaris dengan badan kereta melainkan mempunyai sudut tertentu yang memungkinkan roda bisa membelok mengikuti rel tanpa terjadi anjlok atau roda yang naik ke atas rel.



**Gambar 2.5** *Bogie Steering*: tanpa *bogie* (atas), dengan *bogie* (bawah) [11]

Selain fleksibilitas, *bogie* juga dapat meredam efek yang diakibatkan oleh rel yang bergelombang naik turun. Titik tengah *bogie* yang disebut “*Center Pivot*” (gambar 2.6) akan membagi defleksi yang terjadi diantara 2 rodanya. Hal ini akan menyebabkan kereta lebih stabil walau rel tidak rata / bergelombang naik turun.



**Gambar 2.6** Peredaman ketidak rataan rel oleh *bogie* [11]

Dalam pembuatannya, jenis *bogie* kereta dibedakan menjadi 2 yaitu digunakan pada kereta penumpang dan kereta barang. Pada kereta penumpang, *bogie* diciptakan selain untuk keamanan, juga untuk meningkatkan kenyamanan (Gambar 2.7).



**Gambar 2.7** Jenis *bogie* kereta penumpang [10]

Sementara untuk *bogie* pada gerbong barang memiliki konstruksi yang lebih sederhana, hal ini karena *bogie* barang tidak terlalu mengutamakan kenyamanan, kecuali untuk angkutan barang khusus yang memang membutuhkan tingkat getaran dan goyangan yang rendah layaknya kereta penumpang. *Bogie* pada kereta barang menggunakan pegas ulir dan peredam gesek yang bersifat variabel sesuai berat muatan gerbong (Gambar 2.8) [10].





**Gambar 2.8** Jenis *bogie* kereta barang [10]

## 2.4 Friction Wedge

Pada kereta barang, *bogie* mempunyai 2 sistem suspensi (Gambar 2.8) yang terdiri dari :

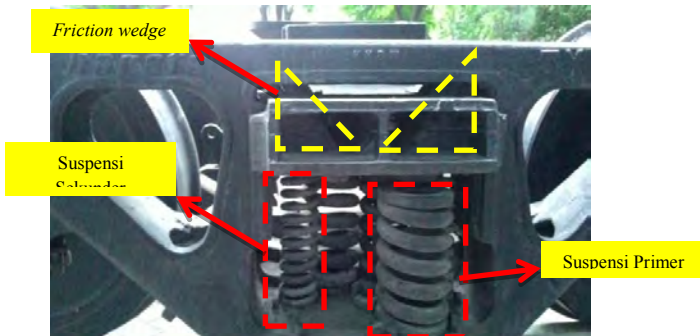
### 1. Suspensi Primer

Pegas Primer merupakan pegas yang menghubungkan antara roda dengan rangka *bogie*. Fungsi dari suspensi primer adalah untuk menampung kejutan-kejutan, gaya-gaya dampak akibat ketidakrataan rel dan sambungan rel, karena perangkat roda adalah bagian yang langsung berinteraksi dengan jalan rel.

Pada suspensi primer, terdapat jarak (*space*) yang didesain agar tidak saling bersentuhan. Namun, bila terjadi gaya dampak yang berlebihan atau ketidakrataan akibat sambungan rel yang berlebihan (*overload*) maka roda dan rangka *bogie* akan saling bersentuhan.

### 2. Suspensi Sekunder

Pegas sekunder merupakan pegas yang menghubungkan antara rangka *bogie* dengan badan kereta (gerbong). Pegas sekunder berperan penting dalam kualitas kenyamanan gerbong kereta api. Pada suspensi sekunder, dilengkapi dengan peredam kejut/*damp*er dengan tujuan untuk mengurangi getaran yang berlebihan akibat ketidakrataan sambungan rel, sehingga tidak terjadi kerusakan pada komponen kereta api.



**Gambar 2.9** Sistem suspensi pada *bogie* kereta barang

Pada suspensi sekunder terdapat peredam kejut (*dampers*) yang berfungsi sebagai alat mekanik yang didesain untuk meredam hentakan yang disebabkan oleh energi kinetik. *Dampers* pada *bogie* umumnya berupa *friction wedge* yang bekerja dengan cara bergesekan dengan *side frame*. Dalam perencanaannya, *side frame* tidak boleh aus, maka pada bagian yang bergesekan dengan *dampers* dilapisi sebuah plat mangan (Gambar 2.9). Sifat *plat mangan* adalah sangat tahan aus dan menjadi lebih keras bila dikenai gesekan (*self-renewing surface*), sehingga pada saat *friction wedge* bergesekan dengan plat mangan, maka *friction wedge* cepat kalah/aus.

*Friction wedge* dibuat dari bahan dasar AISI 1340 melalui proses pengecoran. Pada sisi yang bergesekan dengan plat mangan, terdapat batas keausan dan bila sudah sampai batas tersebut maka *friction wedge* harus diganti (Gambar 2.10). Untuk meningkatkan *life-time* dari *friction wedge*, maka *friction wedge* di-*treatment* agar mempunyai sifat kekerasan dan ketahanan aus yang baik.



**Gambar 2.10** Letak *dampers* pada *bogie*



**Gambar 2.11** Batas keausan *friction wedge*

## 2.5 Perlakuan Panas

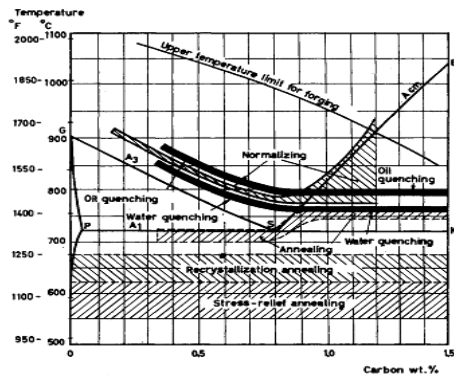
Perlakuan panas adalah kombinasi pemanasan dan pendinginan yang dilakukan terhadap suatu paduan logam untuk memperoleh suatu sifat tertentu. Perlakuan panas dilakukan untuk menaikkan kekuatan/kekerasan dan melunakkan atau menaikkan keuletan/ketangguhan.

Ada banyak macam proses perlakuan panas, yang membedakan satu dengan lainnya adalah parameter yang digunakan pada setiap proses, misalnya temperatur pemanasan, waktu tahan (*holding time*) dan laju pendinginan. Untuk dapat mencapai sifat yang diinginkan maka harus dilakukan perlakuan panas yang tepat [3]. Sifat mekanik baja yang dihasilkan dari proses perlakuan panas *equilibrium* adalah ketangguhan dan keuletan yang tinggi, misalnya *annealing* dan *normalizing*. Sedangkan sifat mekanik baja yang dihasilkan dari proses perlakuan panas *non-equilibrium* adalah kekerasan dan kekuatan yang tinggi, misalnya *quenching*, *tempering* dan *austempering*.

## 2.6 *Quenching*

*Quenching* adalah perlakuan panas dengan pendinginan cepat (*non-equilibrium*) yang dilakukan dalam suatu media pendingin seperti air, oli dan larutan polimer, sehingga struktur mikro yang dihasilkan adalah struktur mikro yang tidak *equilibrium* yaitu martensit. Proses *quenching* dilakukan dengan

memansakan baja hingga temperatur austenit, ditahan beberapa saat pada temperatur tersebut dengan tujuan untuk menghomogenkan austenit-nya, lalu didinginkan cepat kedalam suatu media pendingin. Daerah temperatur *quenching* dapat dilihat pada Gambar 2.2 .



**Gambar 2.12** Daerah temperatur *quenching*

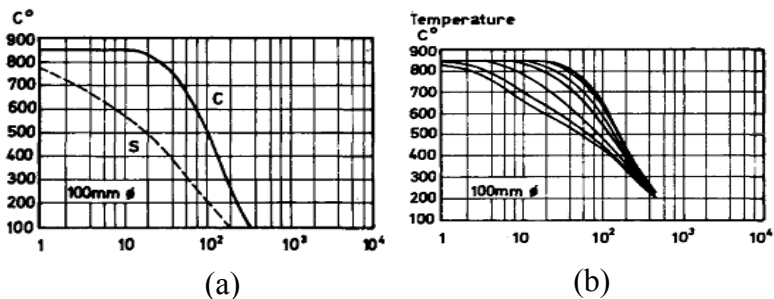
Dari gambar tersebut dijelaskan untuk baja karbon rendah (*low carbon steel*) dilakukan pendinginan dengan air. Baja karbon tinggi (*high carbon steel*) dan baja paduan (*alloy steel*) biasanya digunakan oli (*oil*) sebagai media pendinginan. Tingkat keberhasilan dari proses *quenching* adalah dengan meminimalkan tegangan sisa, distorsi dan kemungkinan terjadinya keretakan [3].

Pendinginan yang terjadi pada proses *quenching* terjadi secara *non-equilibrium*, karena laju pendinginan yang sangat cepat, sehingga untuk memperoleh struktur yang sepenuhnya martensit maka laju pendinginan harus mencapai laju pendinginan kritis (*critical cooling rate*). Dengan laju pendinginan yang kurang dari CCR akan mengakibatkan adanya sebagian austenit yang tidak bertransformasi menjadi martensit tetapi menjadi struktur lain, sehingga kekerasan maksimum tidak akan tercapai

### 2.6.1 Media *Quenching*

Saat melakukan proses *quenching* struktur yang diharapkan adalah struktur *non-equilibrium* yaitu martensit. Oleh karena itu, laju pendinginan perlu dikontrol agar tidak terjadi pembentukan struktur ferit, perlit atau bainit. Pada umumnya dimensi benda uji telah ditentukan terlebih dahulu, sehingga untuk menentukan kedalaman kekerasan harus ditentukan pemilihan baja dan media pendingin yang tepat. Untuk media pendingin, ada beberapa kriteria yang kurang tepat antara media pendingin dan pemilihan baja. Oleh karena itu, terdapat aturan sederhana yang biasanya diterapkan yaitu baja non paduan di *quench* di air; baja paduan di *quench* di oli dan *high-alloy* didinginkan di udara [3].

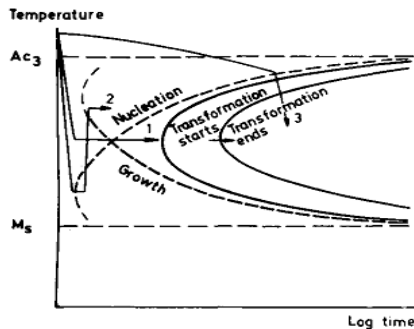
Baja AISI 1340 termasuk baja paduan rendah, sehingga digunakan oli sebagai media pendinginnya. Oli mempunyai kapasitas pendinginan yang lebih lambat dibandingkan dengan air, dijelaskan pada gambar 2.12. Jenis oil yang mudah dan murah biasanya digunakan mineral oil dengan viskositas yang rendah. Laju pendinginan pada umumnya lebih dari 600 °C dan relatif rendah pada pembentukan martensit [3].



**Gambar 2.13** Perbedaan kurva pendinginan  
(a) pendingin air; (b) pendingin oli [5]

### 2.6.2 Interrupted Quenching

Pada gambar 2.13 menunjukkan skema pengintian dan pertumbuhan pada saat transformasi isothermal pada baja karbon *eutectoid*.

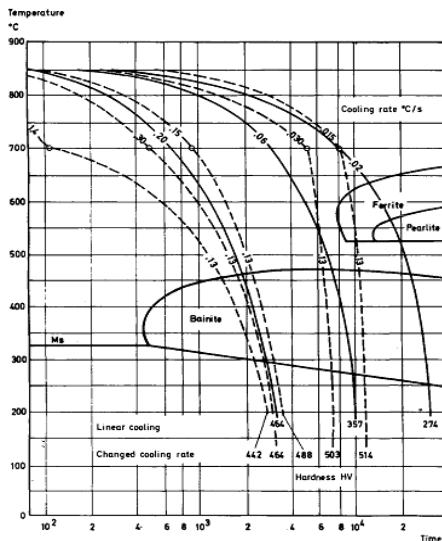


**Gambar 2.14** Skema nukleasi dan pertumbuhan transformasi secara isothermal pada eutectoid carbon steel [3]

Pada *mode 1*: jika laju pendinginan cepat pada *range* temperatur hidung dan ditahan pada temperatur tersebut, maka nukleasi dan pertumbuhannya berlangsung cepat, *mode* ini seperti proses konvensional *quenching*. Pada *mode 2*: jika temperatur pemanasan dinaikkan, pertumbuhan lebih aktif dan pengintian dan waktu yang dibutuhkan untuk transformasi akan lebih cepat dibandingkan dengan transformasi pada *mode 1*. Pada *mode 3*: saat pendinginan melalui *range* austenit metastabil maka proses nukleasi berjalan lambat. Pendinginan lambat dilakukan sesaat sebelum *range* nukleasi dan kemudian dilakukan pendinginan cepat, baja akan masuk ke dalam rentang temperatur dimana setiap inti yang sebelumnya terbentuk akan tumbuh perlahan yang dapat meningkatkan *hardenability*, *mode* ini yang disebut *interrupted quenching*.

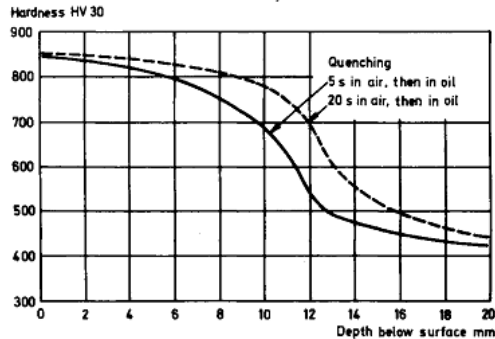
Hal tersebut dibuktikan dengan eksperimen pada SS 2541. Pada eksperimen tersebut, dilakukan proses austenisasi pada temperatur 850 °C dan *holding time* 10 menit (ditunjukkan pada

gambar 2.14). Garis putus-putus menunjukkan pendinginan *interrupted quenching*, pendinginan dimulai dari temperatur 850 °C, saat temperatur mencapai 700 °C laju pendinginannya diubah. Dari gambar tersebut, pendinginan dengan *cooling rate* yang lambat akan menghasilkan kekerasan yang paling tinggi. Sedangkan garis *solid* adalah pendinginan *continue* (tidak merubah *cooling rate*), dari gambar tersebut laju pendinginan yang paling lambat menghasilkan kekerasan yang paling rendah.



**Gambar 2.15** CCT diagram SS 2541 [3]

Percobaan dengan *hardening* juga dilakukan pada *tool steel* SS 2092, dengan diameter 70 mm dan panjang 95 mm. Pada gambar 2.16 menunjukkan perbedaan hasil pengujian kekerasan saat ditahan di udara selama 5 dan 20 detik, kemudian di *quench* kedalam media pendingin oli [3].



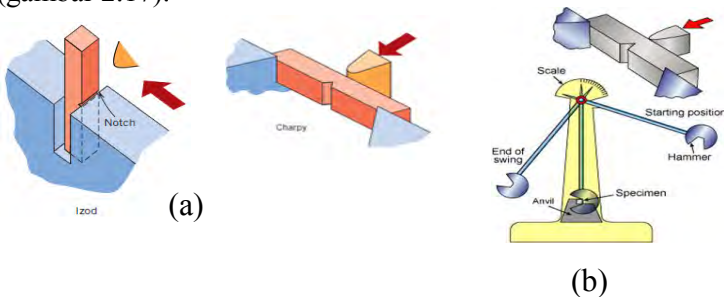
**Gambar 2.16** Profil kekerasan tool steel SS 2092 [3]

## 2.7 Pengujian

### 2.7.1 Pengujian *Impact*

Pengujian *impact* digunakan untuk mengetahui ketangguhan *impact* dan pola patahan (*fractography*). Pada pengujian ini digunakan batang uji yang bertakik (*notch*) dan dipukul dengan sebuah bandul. Terdapat dua macam standard pengujian yang digunakan, yaitu metode *charpy* (banyak digunakan di Amerika dan negara-negara lain) dan metode *Izod* (digunakan di Inggris) [5].

Pada metode Charpy, batang uji diletakkan mendatar dan ujung-ujungnya ditahan ke arah mendatar oleh penahan. Bandul berayun dan memukul batang uji tepat di belakang takikan (gambar 2.17).



**Gambar 2. 17** Pengujian *impact* dengan metode *charpy*



*Impact Energy*, ketahanan batang uji terhadap pukulan (*impact*) dinyatakan sebagai ketangguhan bahan terhadap beban kejut dan pada batang uji yang bertakik.

Selain *impact energy*, pada pengujian impak juga bisa didapatkan *impact strength*. Cara untuk mendapatkan *impact strength* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu secara pengamatan dan teoritis. Kekuatan impak (*impact strength*) adalah energi yang digunakan untuk mematahkan batang uji dan dapat langsung dilihat pada mesin uji *impact*. Sedangkan secara teori, energi untuk mematahkan batang uji dihitung berdasarkan berat dan ketinggian ayunan pendulum sebelum dan setelah *impact*. Energi yang dipakai untuk mematahkan batang uji dapat dihitung sebagai berikut :

$$\text{energi awal } (E_o) : W_h = W \times l(1 - \cos \alpha)$$

$$\text{energi awal } (E_1) : W_{h1} = W \times l(1 - \cos \beta)$$

Energi untuk mematahkan batang uji adalah :

$$E_{max} = W \times l(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (kgm)$$

Kekuatan *impact* dari logam dapat dihitung dengan rumus :

$$IS = \frac{W \times l(\cos \beta - \cos \alpha)}{A} \quad \left( \frac{kgm}{mm^2} \right)$$

Dimana :

W = Berat bandul (kg)

A = Luas penampang pada bagian yang tertakik (mm<sup>2</sup>)

l = Panjang batang bandul (m)

β = Sudut akhir (°)

α = Sudut awal (°)

untuk menghitung energi seperti rumus diatas, terlebih dahulu dihitung panjang batang bandul (l) dan berat bandul (W). Panjang batang bandul didapat dengan cara mengayunkan bandul dengan

sudut  $\pm 10^\circ$  dalam 50 ayunan dan mencatat waktunya dengan stopwatch :

$$T_{50} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}$$

Dimana :

$$g = 9,8 \text{ m/s}^2$$

Sedangkan berat bandul (W) dapat dihitung dengan rumus :

$$E_{\max} = W \times l(\cos \beta - \cos \alpha) \quad (\text{kgm})$$

Dimana :

$$E_{\max} = 30 \text{ kgm}$$

$$\alpha = 156^\circ$$

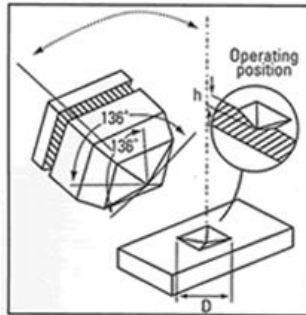
$$\beta = 0^\circ$$

Selain mengukur *impact energy*, pengujian impak juga digunakan untuk mempelajari pola patahan, apakah patah getas (*brittle fracture*) atau patah ulet (*ductile fracture*). Untuk mempelajari ini dilakukan pengamatan visual pada permukaan patahan. Patahan getas (*granular fracture*) tampak berkilat dan berbutir. Sedangkan patahan ulet (*shear fracture*) tampak lebih gelap dan seperti berserabut [5] .

### 2.7.2 Pengujian Kekerasan

Kekerasan adalah kemampuan untuk menahan indentasi/penetrasi/abrasi [10]. Ada beberapa jenis pengujian kekerasan yang terstandar diantaranya pengujian Brinell, *Rockwell* dan Vickers.

Pengujian kekerasan pada penelitian ini menggunakan pengujian *vickers*. Pengujian *vickers* menggunakan indenter piramida intan yang pada dasarnya berbentuk bujur sangkar. Besar sudut antar permukaan-permukaan piramida yang saling berhadapan adalah  $136^\circ$  (gambar 2.18).



**Gambar 2.18** Indentor piramida intan pada pengujian *vickers*

Karena jejak yang dibuat dengan penekan piramida serupa secara geometris dan tidak terdapat persoalan mengenai ukurannya, maka VHN tidak tergantung kepada beban. Pada umumnya hal ini dipenuhi, kecuali pada beban yang sangat ringan. Beban yang biasanya digunakan pada uji vickers berkisar antara 1 hingga 120 kg. tergantung pada kekerasan logam yang akan diuji [12].

### 2.7.3 Pengujian Keausan

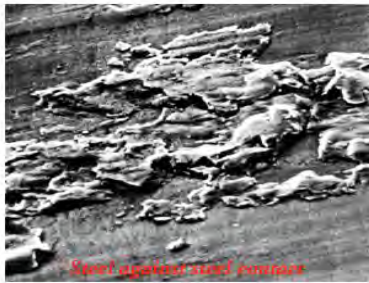
Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Keausan bukan merupakan sifat dasar material, melainkan respon material terhadap sistem luar (kontak permukaan). Material apapun dapat mengalami keausan disebabkan oleh mekanisme yang beragam. Akibat negatif yang ditimbulkan adalah ketahanan (*durability*) dan kehandalan (*reliability*) dari mesin berkurang saat mengalami keausan. Dengan mengetahui volume keausan, kekasaran permukaan, dan bentuk partikel memberikan informasi penting

tentang keausan [8]. Macam-macam tipe keausan adalah sebagai berikut :

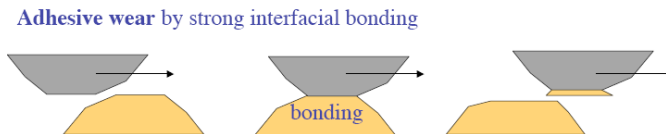
#### 1. Keausan Adesif (*adhesive wear*)

Keausan adesif terjadi bila kontak permukaan dari material yang mengakibatkan adanya perlekatan (*adhesive*) antara satu sama lain, serta deformasi plastis dan pada akhirnya terjadi pengikatan (*bonding*) permukaan material yang satu dengan yang lain. Seperti ditunjukkan pada Gambar 2.18 dan mekanisme terjadi keausan ditunjukkan pada Gambar 2.19.

Faktor yang menyebabkan terjadinya keausan adesif antara lain kontaminasi permukaan dan terjadinya ikatan (*bonding*) antar molekul pada material, yaitu ikatan ion, kovalen dan ikatan logam.



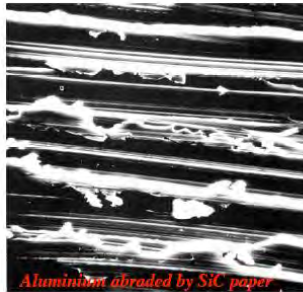
**Gambar 2.18** Pengamatan *micrographs* keausan adesif



**Gambar 2.19** Mekanisme keausan adesif

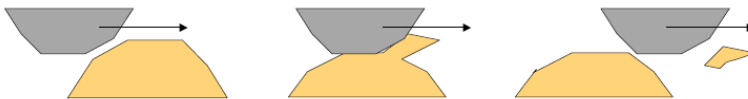
## 2. Keausan Abrasif (*abrasive wear*)

Terjadi bila suatu partikel keras dari material tertentu meluncur pada permukaan material lain yang lebih lunak sehingga terjadi penetrasi atau pemotongan material yang lebih lunak, seperti diperlihatkan pada gambar 2.4 dan mekanismenya pada Gambar 2.5



**Gambar 2.20** Pengamatan *micographs* keausan abrasif

### Abrasive wear by plastic deformation and microcutting



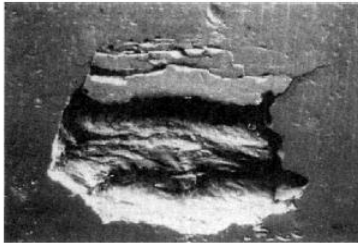
**Gambar 2.21** Mekanisme keausan abrasif

## 3. Keausan Lelah (*fatigue wear*)

Keausan lelah merupakan mekanisme yang relatif berbeda dibandingkan dengan dua mekanisme sebelumnya, yaitu dalam hal interaksi permukaan. Baik keausan adesif maupun abrasif melibatkan hanya satu interaksi, sementara pada keausan lelah dibutuhkan multi interaksi.

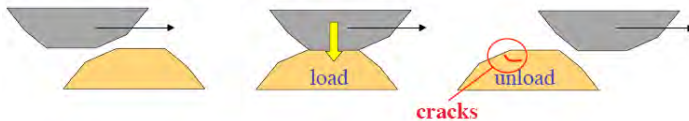
Keausan ini terjadi akibat interaksi permukaan dimana permukaan yang mengalami beban berulang akan mengarah pada pembentukan retak-retak mikro. Retak-retak mikro tersebut pada

akhirnya menyatu dan menghasilkan pengelupasan material, yang ditunjukkan pada Gambar 2.22 dan Gambar 2.23.



**Gambar 2.22** Keausan lelah

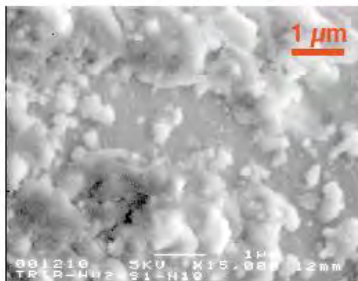
*Fatigue wear* by repeated load and unload cycles



**Gambar 2.23** Mekanisme keausan lelah

#### 4. Keausan Korosif (*corrosive wear*)

Proses kerusakan dimulai dengan adanya perubahan kimiawi material di permukaan oleh factor lingkungan. Kontak dengan lingkungan ini menghasilkan pembentukan lapisan pada permukaan dengan sifat yang berbeda dengan material induk. Sebagai konsekuensinya, material akan mengarah kepada perpatahan interface antara lapisan permukaan dan material induk dan akhirnya seluruh lapisan permukaan itu akan tercabut.



**Gambar 2.24** Keausan korosif

Dalam penelitian ini perhitungan yang dilakukan adalah menghitung laju keausan spesifik dari material uji yaitu fiction wedge AISI 1340 . Perhitungan ini menggunakan rumus:

Mencari perubahan volume :

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana :

$\Delta V$  = Perubahan volume (mm<sup>3</sup>)

$\Delta m$  = Perubahan massa (gram)

$\rho$  = Massa jenis (gram/mm<sup>3</sup>)

Maka laju keausan spesifik K dapat dicari dengan rumus :

$$K = \frac{\Delta V}{F.L}$$

Dimana :

K = Laju keausan spesifik (mm<sup>3</sup>/N.m)

$\Delta V$  = Perubahan volume (mm<sup>3</sup>)

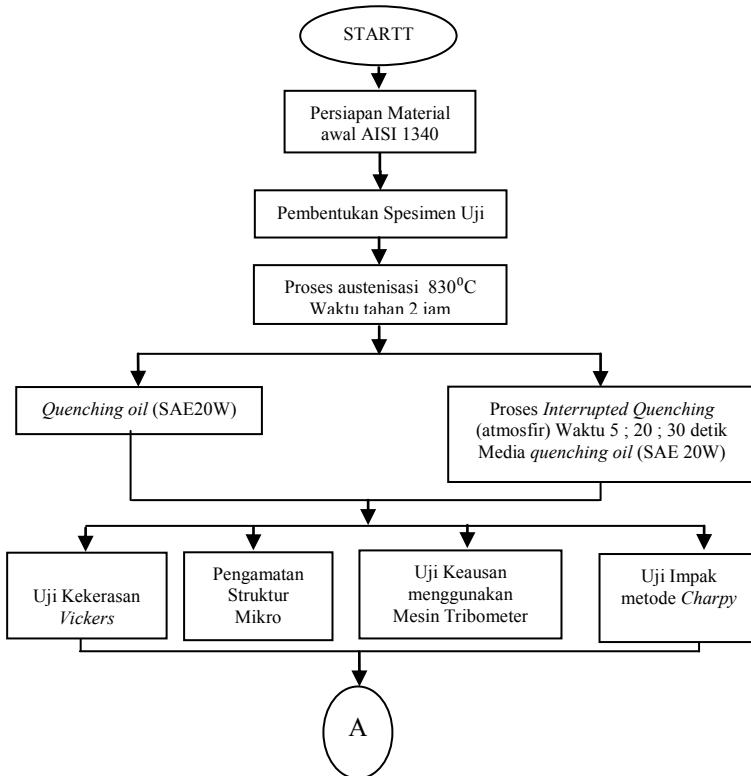
F = Load (N)

L = Sliding distance (m)

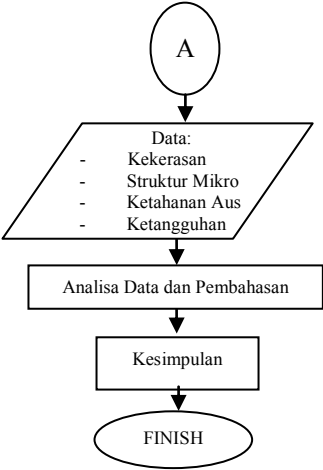
## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

### 3.1 Diagram alir penelitian

Tahapan observasi yang dilaksanakan pada penelitian ini ditunjukkan pada diagram alir berikut ini :







**Gambar 3. 1** Diagram alir penelitian

**3.2 Material**

Material yang digunakan dalam penelitian ini adalah baja AISI 1340 dengan komposisi kimia pada tabel 3.1 :

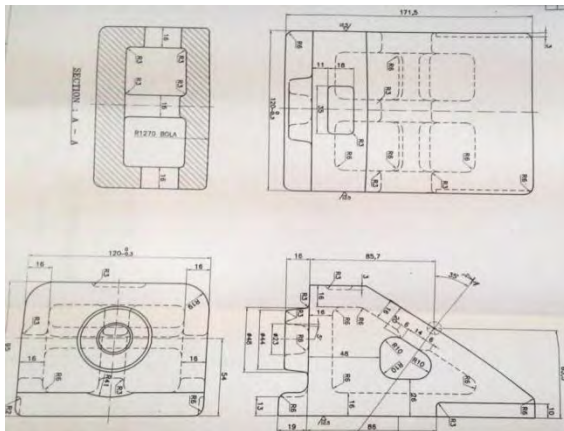
**Tabel 3.1** Komposisi Kimia Baja AISI 1340 dari Hasil Uji

Unsur	Sample as Cast (%)	Standard AISI 1340 (%)
Carbon (C)	0,46	0,38 – 0,43
Mangan (Mn)	1,76	1,60 – 1,90
Ferrous (Fe)	Balanced	Balanced
Posphour (P)	0,016	Max 0,035
Sulphur (S)	0,008	Max 0,04
Silicon (Si)	0,27	0,15 – 0,35
Chromium (Cr)	0,13	-
Nickel (Ni)	0,14	-
Vanadium (V)	0,004	-

Sampel uji baja AISI 1340 yang digunakan dalam penelitian ini adalah pemberian salah satu perusahaan pengecoran di Indonesia.



**Gambar 3. 2** *Friction wedge* AISI 1340

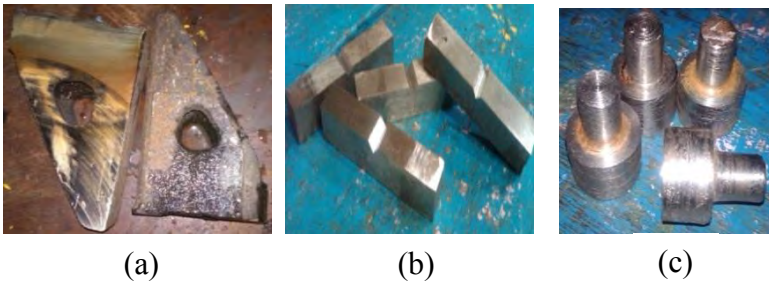


**Gambar 3. 3** Dimensi *friction wedge*

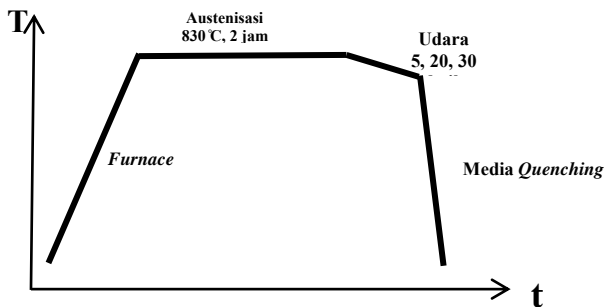
### 3.3 Proses Perlakuan Panas

1. *Friction wedge* dipotong menjadi dua bagian yang simetris dalam kondisi *as cast* (gambar 3.4a)
2. Spesimen uji yang sudah terpotong dilakukan proses pemesian dan dibentuk menjadi standar uji keausan dan standar uji impak (gambar 3.4b;3.4c)

3. Persiapan benda uji standar uji keausan dan dampak
4. Spesimen uji dimasukkan kedalam *furnace* dan dipanaskan sampai temperatur 830 °C lalu ditahan (*holding time*) selama 2 jam.
5. Spesimen uji dikeluarkan dari dapur dengan cepat dan ditahan di udara selama 5 detik
6. Spesimen dimasukkan dengan cepat ke dalam media pendingin oli (SAE 20W).
7. Proses 3-6 dilakukan sebanyak dua kali.
8. Proses 3-6 dilakukan sebanyak tiga kali dan ditahan di udara dengan masing-masing waktu 20, dan 30 detik.



**Gambar 3. 5** Spesimen uji *friction wedge*  
 (a) *friction wedge* dipotong simetris; (b) spesimen uji dampak, kekerasan dan struktur mikro; (c) spesimen uji keausan



**Gambar 3. 4** Skema proses *heat treatment interrupted quenching*

### 3.4 Peralatan yang Digunakan

Peralatan uji yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu :

#### 1. Dapur Pemanas (*furnace*)

Dapur pemanas (*furnace*) yang digunakan pada penelitian ini adalah dapur milik Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.



**Gambar 3. 6** Dapur pemanas (*furnace*)

#### 2. Media Pendingin

Media pendingin yang digunakan adalah oli mineral merk Mesran SAE 20W produksi Pertamina. Pada proses pencelupannya tidak ada agitasi dan dilakukan pada temperatur ruang. Spesifikasi oli ditunjukkan pada tabel berikut :

**Tabel 3.2** Karakteristik oli Mesran SAE 20W

	MESRAN 10W	MESRAN 20W	MESRAN 30
No. SAE			
Specific gravity, 15/4° C	10W	20W	30
Kinematic Viscosity, at 40°C, cSt	0.8802	0.8863	0.8895
_____ 100°C, cSt	39.30	63.30	100.47
CCS Visc at-10 C, cP	6.25	8.04	11.62
Viscosity Index	106	97	102
Colour, ASTM	4.0	4.0	4.0
Flash Point, COC, °C	240	240	240
Pour Point, °C	9	9	9
Total Base Number, mg KOH/g	5.24	5.24	5.20

### 3. Peralatan Potong

Peralatan yang digunakan untuk pembentukan spesimen uji impact, kekerasan, ketahanan aus adalah gergaji mesin, *cutting wheel*, gerinda tangan, mesin bubut dan mesin skrap. Peralatan gergaji mesin, *cutting wheel* dan gerinda tangan yang digunakan adalah milik Laboratorium *Metallurgy* Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.



**Gambar 3. 7** Gergaji mesin dan *cutting wheel*

### 4. Peralatan Uji Kekerasan

Pengujian kekerasan dilakukan pengujian *vickers* menggunakan mesin uji merk *Wolpert*.. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai kekerasan yang terjadi akibat proses *interrupted quenching* dengan 3 variasi waktu *interrupted*. Peralatan uji kekerasan yang digunakan adalah milik Laboratorium *Metallurgy* Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.



**Gambar 3. 8** Alat uji kekerasan *Vickers*

5. Peralatan *Metallography*

Pengamatan metalografi menggunakan peralatan sebagai berikut :

- a. Mesin grinding dan polishing
- b. Kertas gosok grid 1500 dan 2000
- c. Kain bludru dan serbuk alumina 0,05 mikron
- d. Digunakan etsa 2% nital dan *etching reagent* picral
- e. Mikroskop dengan perbesaran 50X dan 100X
- f.



**Gambar 3. 9** Mesin *grinding* dan *polishing*

6. Peralatan Uji *Impact*

Uji *impact* pada penelitian ini menggunakan standard pengujian JIS Z 2242 dilakukan pada temperatur kamar

menggunakan mesin uji merk *Frank* dengan metode *Charpy* dan spesimen dibeai takikan berbentuk V. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketangguhan yang terjadi akibat proses *interrupted quenching* dengan 3 variasi waktu *interrupted*. Peralatan uji *impact* yang digunakan adalah milik Laboratorium Metallurgy Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya.

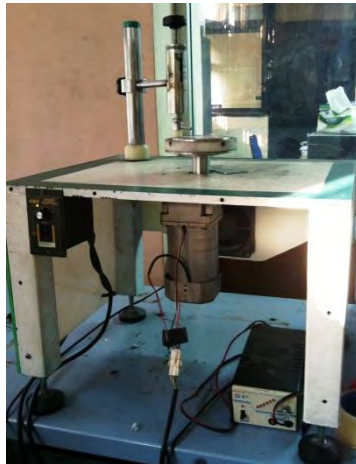


**Gambar 3. 10** Mesin uji *impact*

#### 7. Peralatan Mesin Tribometer

Salah satu sifat penting yang harus dimiliki oleh *friction wedge* adalah ketahanan aus karena *friction wedge* dirancang untuk menahan getaran dari beban kereta dengan cara begesekan langsung dengan plat mangan. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui ketahanan aus yang terjadi akibat proses *interrupted quenching* dengan 3 variasi waktu *interrupted*. Peralatan uji *Tribometer* yang digunakan adalah milik Laboratorium *Design* Jurusan Teknik Mesin ITS Surabaya. Jenis dan spesifikasi tribometer yang digunakan dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Jenis : *Pin-on-disk*
- *Sliding speed range* : 8.37 – 250 mm/s
- *Disc rotation speed* : 8 - 60 rpm
- *Maximum normal load* : 150 N
- *Wear measurement range*: 10 mm
- *Pin size* : 8–15 mm diameter / diagonal
- *Disc size* : 100 mm Ø x 20 mm tebal
- *Wear track diameter* : 80 mm
- *Material disc* : *Plat Mangan*



**Gambar 3. 11** Tribometer tipe *pin on disk*

### 3.5 Pengujian

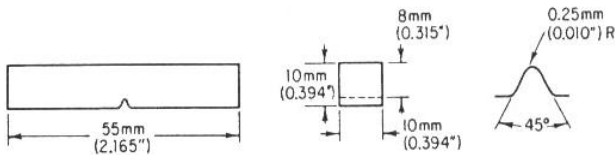
Spesimen uji yang digunakan dalam penelitian ini, dilakukan setelah proses *heat treatment interrupted quenching* dan dilakukan pengujian dengan langkah – langkah pengujian sebagai berikut :



### 3.5.1 Pengujian *Impact*

Uji *impact* dilakukan untuk mendapatkan ketangguhan *impact friction wedge* AISI 1340. Bentuk spesimen diambil dari *friction wedge* yang terkena beban kejut dan dibentuk menjadi dimensi sesuai dengan standar JIS Z 2202. Adapun langkah – langkahnya adalah sebagai berikut :

1. *Friction wedge* yang telah diberikan proses *heat treatment* dipotong dan dibentuk sesuai standar uji impact (gambar 3.11).
2. Spesimen uji diletakkan pada landasan (*anvil*). *Notch*/takik harus teletak di tengah-tengah. Arah *notch* menghadap ke arah yang berlawanan dengan datangnya bandul.
3. Bandul/beban dinaikkan setinggi  $h$  atau sebesar sudut  $\alpha$  ( $156^\circ$ )
4. Posisi jarum penunjuk skala diatur pada posisi nol
5. Bandul dilepas
6. Energi yang digunakan untuk mematahkan spesimen uji dilihat pada jarum skala penunjuk dan dicatat.
7. *Impact strength* dari material dihitung.
8. Langkah 1-7 diulangi untuk tiap *friction wedge* yang telah diberi *heat treatment* dengan 3 variasi waktu *interrupted quenching*.



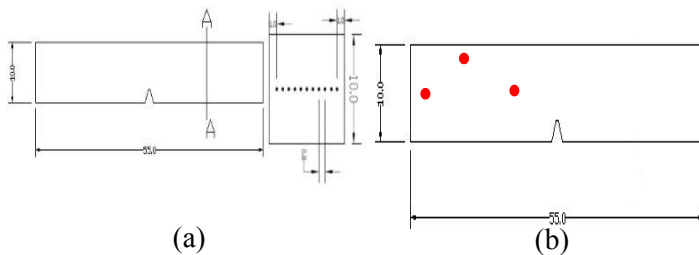
**Gambar 3. 12** Dimensi standar uji impact

### 3.5.2 Pengujian Kekerasan

Untuk mengetahui kedalaman pengerasan dan kekerasan pada permukaan spesimen uji dilakukan dengan menggunakan

pengujian *vickers*, yaitu dengan cara diberikan beban berupa indenter piramida intan dengan sudut puncak  $136^\circ$ . Adapun prosedur pengujian kekerasan *vickers* yaitu :

1. Persiapan spesimen salah satu patahan dari pengujian dampak dan dipotong menjadi dua dengan menggunakan gergaji mesin.
2. Proses *grinding* yaitu spesimen digosok dengan menggunakan kertas gosok grid 150-2000 pada mesin *grinding*.
3. Pemetaan lokasi indentasi pada daerah penampang dengan jarak 1 mm dari permukaan dan jarak antar indentasi adalah 0,8 mm.
4. Pemetaan lokasi indentasi pada permukaan dengan jarak 8 mm dari tepi dan jarak antar titik adalah 8 mm.
5. Spesimen uji dipasang pada alat uji kekerasan *vickes* dan diberikan beban 30 HV.
6. Langkah 1-5 diulangi untuk tiap spesimen uji yang telah diberi *heat treatment* dengan 3 variasi waktu *interrupted quenching*



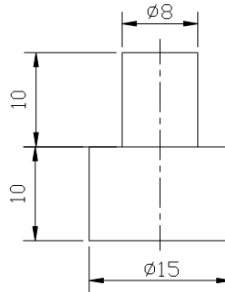
**Gambar 3. 13** Lokasi titik indentasi pada spesimen uji  
(a) penampang (b) permukaan

### 3.5.3 Pengujian Keausan

Keausan dapat didefinisikan sebagai rusaknya permukaan padatan, umumnya melibatkan kehilangan material yang progresif

akibat adanya gesekan antar permukaan padatan. Keausan merupakan hal yang biasa terjadi pada setiap material yang mengalami gesekan dengan material lain. Dampaknya ketahanan dan kehandalan material berkurang saat mengalami keausan. Bentuk spesimen diambil dari *friction wedge* yang mengalami gesekan dengan plat mangan dan dibentuk menjadi dimensi sesuai dengan standar mesin tribometer tipe *Pin-on-disk*. Adapun langkah-langkahnya adalah sebagai berikut :

1. *Friction wedge* yang telah diberikan proses *heat treatment* dipotong dan dilakukan proses pemesian sesuai dengan bentuk standar uji mesin tribometer. Dapat dilihat pada gambar 3.15
2. Spesimen uji ditimbang untuk mengetahui massa awal
3. Jarak tempuh ditentukan 1000 m
4. *Disk* yang terbuat dari plat mangan dipasang dan dikencangkan
5. Pin dipasang pada tribometer dengan jarak pin dari pusat *disk* diukur dengan penggaris
6. *Load adjuster* diputar pada posisi 6 kg
7. *Sped control* diatur pada posisi 70
8. Mesin tribometer dinyalakan dan ditunggu selama 82 menit
9. Pin ditimbang kembali untuk mengetahui massa akhir
10. Langkah 1-9 diulangi untuk tiap *friction wedge* yang telah diberi *heat treatment* dengan 3 variasi waktu *interrupted quenching*.



**Gambar 3. 14** Dimensi standar uji keausan

Untuk mencari perubahan volume massa *pin* ( $\Delta V$ ) digunakan rumus sebagai berikut :

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana :

$\Delta V$  = Perubahan volume ( $\text{mm}^3$ )

$\Delta m$  = Perubahan massa (gram)

$\rho$  = Massa jenis ( $\text{gram}/\text{mm}^3$ )

Maka laju keausan spesifik K dapat dicari dengan rumus :

$$K = \frac{\Delta V}{F \cdot L}$$

Dimana :

K = Laju keausan spesifik ( $\text{mm}^3/\text{N.m}$ )

$\Delta V$  = Perubahan volume ( $\text{mm}^3$ )

F = 58,86 (N)

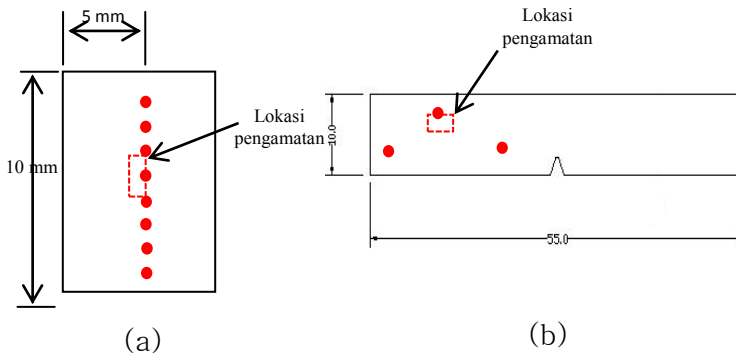
L = 1000 (m)

### 3.5.4 Pengamatan Struktur Mikro

Setelah dilakukan *heat treatment*, untuk mengobservasi struktur mikro dan fase yang terbentuk perlu dilakukan

pengamatan metalografi. Pengujian ini dilakukan pada spesimen uji bekas uji kekerasan (Gambar 3.13 ). Langkah – langkah pengujian ini adalah :

1. Spesimen di *grinding* menggunakan kertas gosok dengan *grid* 600-2000 yang dialiri air pada mesin *grinding – polishing*
2. Spesimen dipoles menggunakan kain bludru dan serbuk alumina 0,05 mikron hingga diperoleh spesimen yang bebas dari goresan.
3. Spesimen di etsa menggunakan asam *picral* 5 % selama beberapa detik lalu spesimen segera dicuci dengan menggunakan alkohol untuk diamati fasa yang terjadi.
4. Spesimen diamati struktur mikro dan fase yang terjadi menggunakan mikroskop optis dengan perbesaran 1000X
5. Langkah 1-4 diulangi untuk tiap *friction wedge* yang telah diberi *heat treatment* dengan 3 variasi waktu *interrupted quenching*.



**Gambar 3. 15** Daerah pengamatan struktur mikro pada  
(a) penampang; (b) permukaan

## DATA DAN ANALISA HASIL PENELITIAN



Data Pengujian	Spesimen Uji					
Bahan	Interrupted 30 detik			As Quench		
Standar Pengujian	JIS Z 2242			JIS Z 2242		
Standar Spesimen	JIS Z 2202			JIS Z 2202		
Temperatur Uji	Temperatur Kamar					
Panjang spesimen (mm)	55	55	56	55	55,02	54
Tebal spesimen(mm)	11	12	11	10,01	10	10,1
Lebar spesimen (mm)	11	11	12	10,07	10	10
Sudut awal ( $\alpha$ )	156°			156°		
Sudut akhir ( $\beta$ )	150°	152°	150°	151°	151°	150°
Energi (Kpm)	7	5	8	6	6	8
Tebal Patahan (mm)	8,2	8,2	8,1	8	8	8
Tebal sisa patahan (mm)	-	-	-	-	-	-

Setelah diperoleh data pengujian *impact* terhadap spesimen uji, untuk mendapatkan *impact strength* digunakan persamaan sebagai berikut :

$$IS = \frac{\text{Energi Impact}}{A}$$

Dimana :

$$IS = \text{Impact Strength (Kpm/mm}^2\text{)}$$

$$A = \text{Luas Patahan Spesimen (mm}^2\text{)}$$

Untuk mendapatkan luas patahan pada spesimen digunakan rumus :

$$A = \text{Tebal patahan} \times \text{Lebar Spesimen}$$

Dari perhitungan luas patahan dan *impact strength* pada semua spesimen uji, ditampilkan pada tabel 4.2 :

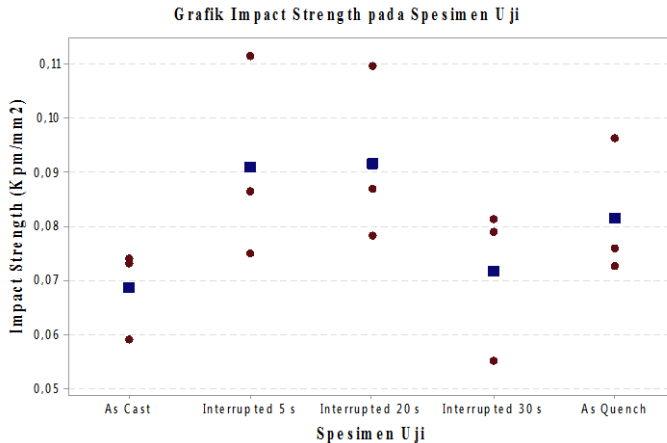


**Tabel 4.2** Hasil pengujian energi *impact* dan *impact strength* pada *as cast*, *as quench* dan spesimen variasi waktu *interrupted quenching*

Spesimen	Energi <i>Impact</i> (Kpm)				Luas Patahan (mm <sup>2</sup> )			<i>Impact Strength</i> (Kpm/mm <sup>2</sup> )				
	Replikasi			Rata-rata	Replikasi			Replikasi			Rata-rata	
	1	2	3		1	2	3	1	2	3		
As Cast	5	6	6	5,67	84,46	82	81	0,059 2	0,073 171	0,074 074	0,068815	
Interr. 5 S	7	6	9	7,33	80,8	80	80,72	0,086 634	0,075	0,111 497	0,091043	
Interr. 20 S	7	9	6	7,33	80,5	82	76,47 5	0,086 957	0,109 756	0,078 457	0,091723	
Interr. 30 S	7	5	8	6,67	88,55	90,75	98,4	0,079 051	0,055 096	0,081 301	0,071816	
As Quench	6	6	8	6,67	82,57 4	79	83	0,072 662	0,075 949	0,096 386	0,081666	

#### 4.1.2 Pembahasan Pengujian *Impact* Pada Spesimen Uji

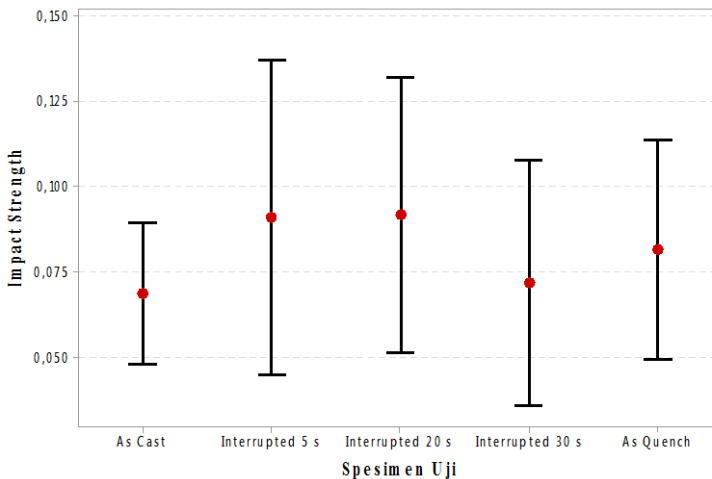
Dari Tabel 4.2, didapatkan nilai energi untuk mematahkan (ε) yang terbaca langsung pada jarum, *impact strength* merupakan energi yang diserap oleh spesimen hingga patah dan untuk mengetahui kemampuan material menghadapi beban kejut. Grafik *impact strength* pada spesimen uji dapat dilihat pada gambar 4.2, dari gambar tersebut terlihat bentuk bulat dengan warna coklat yang menunjukkan *impact strength* dari spesimen uji dan yang berbentuk persegi dengan warna biru menunjukkan rerata *impact strength*.



**Gambar 4. 2** Grafik pengaruh variasi waktu *interrupted* terhadap *impact strength* spesimen uji

Pada Gambar 4.2 menunjukkan spesimen *as cast* memiliki rerata *impact strength*  $0,068815 \text{ Kpm/mm}^2$  dan nilai *Impact strength* pada spesimen *as cast* diketahui paling kecil dibandingkan dengan nilai semua spesimen setelah dilakukan *interrupted quenching* dan *as quench*. Setelah dilakukan proses *interrupted quenching* dengan variasi waktu *interrupted*, terjadi peningkatan nilai *impact strength* pada semua spesimen dengan rerata nilai yang paling tinggi pada material dengan variasi waktu *interrupted* 20 detik yaitu  $0,091723 \text{ Kpm/mm}^2$ , dengan kenaikan *impact strength* 24,97 % dari spesimen *as cast*. Sedangkan spesimen dengan waktu *interrupted* 30 detik memiliki rata-rata *impact strength* yang paling rendah dengan nilai rerata *impact strength*  $0,071816 \text{ Kpm/mm}^2$ , dan kenaikan *impact strength* sebesar 4,17 % dari spesimen *as cast*. Pada spesimen dengan waktu *interrupted* 5 detik terjadi kenaikan *impact strength* 24,41 % dari spesimen *as cast* dengan rerata *impact strength*  $0,091043 \text{ Kpm/mm}^2$ .

Untuk menunjukkan pengaruh waktu *interrupted quenching* dari proses perlakuan panas *interrupted quenching* terhadap nilai *impact strength*, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *software* Anova. Pengujian anova pada laporan penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan atau *Convident Level* (CL) sebesar 95%. Dari hasil pengujian menggunakan One-way ANOVA menunjukkan pengaruh waktu *interrupted quenching* terhadap nilai *impact strength*, yang ditunjukkan pada gambar 4.3 :



**Gambar 4. 3** Grafik rerata *impact strength* menggunakan aplikasi anova

Pada Gambar 4.3 menunjukkan bahwa *mean impact strength* tertinggi (pada titik merah) sebesar 0,09133 Kpm/mm<sup>2</sup> yaitu pada spesimen dengan waktu *interrupted* 20 detik. Sedangkan *mean impact strength* terendah pada spesimen *as cast* yaitu sebesar 0,06733 Kpm/mm<sup>2</sup>. Dari hasil pengujian Anova (lampiran 1) didapatkan nilai signifikan 25 %, hal tersebut dapat diartikan bahwa waktu *interrupted quenching* tidak berpengaruh signifikan terhadap *impact strength*. Karena nilai signifikansi

lebih dari 5% memiliki arti bahwa suatu variabel tidak berpengaruh signifikan terhadap data.

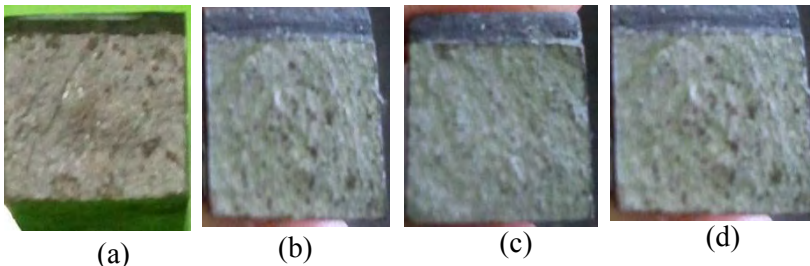
#### 4.1.3 Pola Patahan pada Spesimen Uji

Pengujian *impact* dilakukan untuk mengetahui ketangguhan *impact* dan pola patahan (*fractography*) dari suatu material. Dari pola patahan tersebut, dapat diketahui spesimen mengalami patah getas atau patah ulet.



**Gambar 4. 4** Pola patahan pada spesimen *as cast*

Berdasarkan pengamatan pada gambar 4.4, pola patahan yang terjadi didominasi butiran besar dan tidak ada bagian yang berserabut pada pola patahan tersebut. Dari gambar tersebut, dapat diartikan bahwa spesimen *as cast* mengalami patah getas. Setelah dilakukan proses *interrupted quenching* dengan variasi waktu *interrupted quenching*, maka didapatkan pola patahan (*fractography*) yang terlihat pada gambar 4.5 :



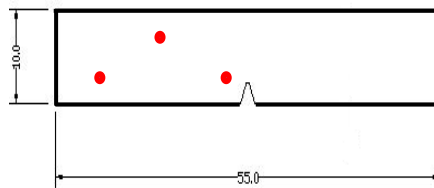
**Gambar 4. 5** Profil patahan pada spesimen uji kondisi

(a) *Interr. 5 detik* (b) *Interr. 20 detik* (c) *Interr. 30 detik* (d) *As Quench*

Berdasarkan pola patahan gambar 4.5, pada spesimen dengan waktu *interrupted* 5 detik, 20 detik, 30 detik serta *as quench* menunjukkan pola patahan yang hampir sama. Dari keseluruhan spesimen tersebut mengalami patah getas (*brittle fracture*), hal ini diketahui dari pola patahan yang berbutir dan tidak ada bagian yang berserabut. Hal tersebut diakibatkan ikatan antar atomnya melemah sehingga mudah untuk dipatahkan dengan beban kejut.

#### 4.2 Pengujian Kekerasan *Vickers* pada Permukaan Spesimen

Pengujian kekerasan *vickers* pada permukaan diambil dari material pengujian *impact* dengan pengambilan titik kekerasan secara acak dan tiap-tiap spesimen diambil tiga titik pengujian, gambar dan ukuran spesimen terdapat pada gambar 4.6 :



**Gambar 4. 6** Lokasi pengujian kekerasan *vickers* pada permukaan spesimen

##### 4.2.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Pada Permukaan Spesimen

Pada pengujian *vickers*, digunakan beban indentasi 10 kg untuk spesimen *as cast* dan beban 30 kg untuk spesimen dengan variasi *interrupted quenching* dan spesimen *as quench*. Untuk mendapatkan nilai kekerasan digunakan rumus :

$$VHN = \frac{(1,854)P}{D^2}$$

Dimana :

P = Beban Indentasi (kg)

D = Panjang diagonal rata – rata (mm)

Dari rumus diatas diperoleh nilai kekerasan permukaan pada spesimen *as cast*, spesimen dengan variasi waktu *interrupted* dan spesimen *as quench* yang terdapat pada tabel berikut 4.3 :

**Tabel 4.3** Hasil pengujian kekerasan permukaan pada spesimen *as cast*, *as quench* dan spesimen variasi waktu *interrupted quenching*

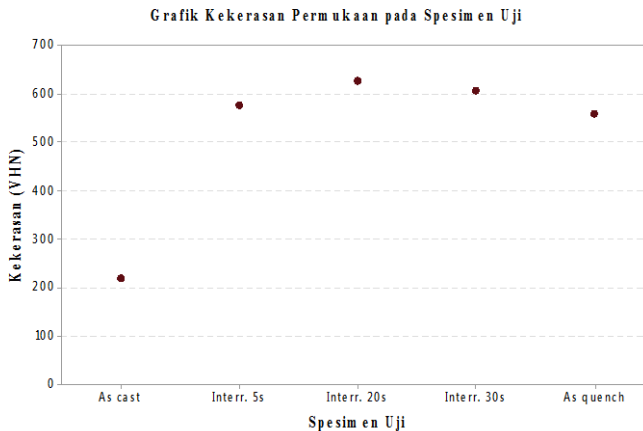
Spesimen		Titik Pengujian		
		1	2	3
As Cast (1)	D <sub>1</sub>	0,3	0,3	0,3
	D <sub>2</sub>	0,3	0,3	0,3
	D	0,3	0,3	0,3
	VHN	206	206	206
As Cast (2)	D <sub>1</sub>	0,3	0,3	0,3
	D <sub>2</sub>	0,29	0,29	0,28
	D	0,295	0,295	0,29
	VHN	213,042	213,042	220,452

Spesimen		Titik Pengujian		
		1	2	3
As Cast (3)	D <sub>1</sub>	0,29	0,29	0,28
	D <sub>2</sub>	0,28	0,28	0,27
	D	0,285	0,285	0,275
	VHN	228,255	228,255	245,157
Rerata VHN <i>as cast</i>		215,766	215,766	223,87

Interr. 5 s (1)	D <sub>1</sub>	0,31	0,315	0,3
	D <sub>2</sub>	0,315	0,31	0,3
	D	0,3125	0,3125	0,3
	VHN	569,549	569,549	618
Interr. 5 s (2)	D <sub>1</sub>	0,3	0,31	0,3
	D <sub>2</sub>	0,295	0,315	0,295
	D	0,2975	0,3125	0,2975
	VHN	628,43	569,549	628,43
Interr. 5 s (3)	D <sub>1</sub>	0,325	0,32	0,325
	D <sub>2</sub>	0,325	0,315	0,32
	D	0,325	0,3175	0,3225
	VHN	526,58	551,752	534,776
Rerata VHN interr. 5s		574,853	563,616	593,735
Interr. 20 s (1)	D <sub>1</sub>	0,305	0,305	0,305
	D <sub>2</sub>	0,295	0,295	0,305
	D	0,3	0,3	0,305
	VHN	618	618	597,904
Interr. 20 s (2)	D <sub>1</sub>	0,3	0,3	0,3
	D <sub>2</sub>	0,315	0,3	0,3
	D	0,3075	0,3	0,3
	VHN	588,221	618	618
Interr. 20 s (3)	D <sub>1</sub>	0,285	0,285	0,295
	D <sub>2</sub>	0,29	0,29	0,29
	D	0,2875	0,2875	0,2925
	VHN	672,907	672,907	650,099
Rerata VHN interr. 20 s		626,376	636,302	622,001
Interr. 30 s (1)	D <sub>1</sub>	0,31	0,315	0,3
	D <sub>2</sub>	0,3	0,3	0,3
	D	0,305	0,3075	0,3
	VHN	597,904	588,221	618
Interr. 30 s (2)	D <sub>1</sub>	0,305	0,3	0,305
	D <sub>2</sub>	0,3	0,305	0,305
	D	0,3025	0,3025	0,305
	VHN	607,827	607,827	597,904
Interr. 30 s (3)	D <sub>1</sub>	0,3	0,3	0,305
	D <sub>2</sub>	0,3	0,295	0,3
	D	0,3	0,2975	0,3025
	VHN	618	628,43	607,827
Rerata VHN Interr. 30 s		607,91	608,16	607,91
As quench (1)	D <sub>1</sub>	0,31	0,31	0,305
	D <sub>2</sub>	0,315	0,31	0,31
	D	0,3125	0,31	0,3075
	VHN	569,549	578,772	588,221
As quench (2)	D <sub>1</sub>	0,32	0,325	0,315
	D <sub>2</sub>	0,315	0,31	0,31
	D	0,3175	0,3175	0,3125
	VHN	551,752	551,752	569,549
As quench (3)	D <sub>1</sub>	0,32	0,31	0,33
	D <sub>2</sub>	0,33	0,32	0,32
	D	0,325	0,315	0,325
	VHN	526,58	560,544	526,58
Rerata VHN As quench		549,293	563,689	561,45

#### 4.2.2 Pembahasan Pengujian Kekerasan *Vickers* Pada Permukaan Spesimen Uji

Dari Tabel 4.3 diperoleh rerata kekerasan permukaan dari setiap spesimen *as cast*, *as quench* dan spesimen dengan variasi waktu *interrupted quenching* dan didapatkan grafik kekerasannya pada gambar 4.7 :



**Gambar 4. 7** Grafik pengaruh variasi waktu *interrupted* terhadap kekerasan permukaan spesimen uji

Pada gambar 4.7 menunjukkan bahwa spesimen *as cast* memiliki rerata nilai kekerasan yang merata yaitu dengan rerata kekerasan 219 VHN. Pada semua spesimen dengan perlakuan panas *interrupted quenching* telah terjadi peningkatan kekerasan. Spesimen dengan variasi waktu *interrupted* 5 detik nilai kekerasannya meningkat 62,16 % dari spesimen *as cast* dengan rerata kekerasan 577 VHN. Pada spesimen dengan waktu *interrupted* 20 detik kekerasannya meningkat 65,22 % dari spesimen *as cast*, dengan rerata kekerasan 610 VHN. Spesimen dengan waktu *interrupted* 30 detik memiliki kenaikan kekerasan 64,06 %, dari spesimen *as cast*. Spesimen *as quench* terjadi peningkatan kekerasan sebesar 60,85 % dari spesimen *as cast*.



Dari hasil pengujian kekerasan pada permukaan spesimen dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan waktu *interrupted* 20 detik terjadi peningkatan kekerasan yang paling tinggi.

Untuk menunjukkan pengaruh waktu *interrupted quenching* dari proses perlakuan panas *interrupted quenching* terhadap kekerasan permukaan, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *software* Anova. Pengujian anova pada laporan penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan atau *Convident Level* (CL) sebesar 95%. Dari hasil pengujian menggunakan One-way ANOVA ditunjukkan pada Gambar 4.8 :

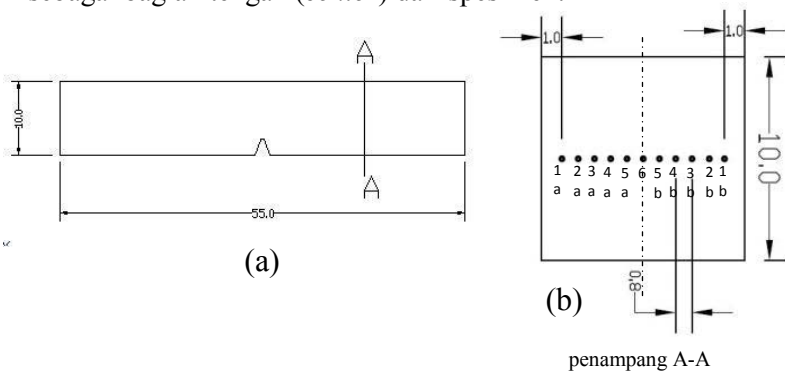


**Gambar 4. 8** Grafik rerata kekerasan permukaan menggunakan aplikasi anova

Dari hasil pengujian menggunakan ANOVA (lampiran 2) didapatkan nilai signifikan 0 %, hal tersebut dapat diartikan bahwa antar spesimen *as cast*, spesimen dengan variasi waktu *interrupted quenching* dan spesimen *as quench* berpengaruh signifikan terhadap kekerasan permukaan. Karena nilai signifikansi lebih dari 5% memiliki arti bahwa suatu variabel tidak berpengaruh signifikan terhadap data.

### 4.3 Pengujian Kekerasan *Vickers* Pada Penampang Spesimen

Pengujian kekerasan *vickers* pada penampang diambil dari material pengujian *impact*. Dari gambar 4.8 (a) diasumsikan yang terkena kontak langsung dengan media pendingin adalah bagian terluar/keempat sisi dari spesimen. Sehingga untuk mengetahui kedalaman pengerasan dari dua sisi terluar, maka diberikan kode seperti yang terlihat pada gambar 4.8 (b) dengan titik 6 adalah sebagai bagian tengah (*center*) dari spesimen.



**Gambar 4. 9** Lokasi pengujian kekerasan *vickers* pada penampang spesimen

#### 4.3.1 Data Hasil Pengujian Kekerasan *Vickers* Pada Penampang Spesimen

Pada pengujian *vickers*, digunakan beban indentasi 10 kg untuk spesimen *as cast* dan beban 30 kg untuk spesimen dengan variasi *interrupted quenching* dan spesimen *as quench*. Untuk mendapatkan nilai kekerasan digunakan rumus :

$$VHN = \frac{(1,854)P}{D^2}$$

Dimana :

P = Beban Indentasi (kg)

D = Panjang diagonal rata – rata (mm)

Dari rumus diatas diperoleh nilai kekerasan penampang pada spesimen *as cast*, spesimen dengan variasi waktu *interrupted* dan spesimen *as quench* yang terdapat pada tabel berikut :

**Tabel 4.4** Hasil pengujian kekerasan penampang pada spesimen *as cast*, *as quench* dan spesimen variasi waktu *interrupted quenching*

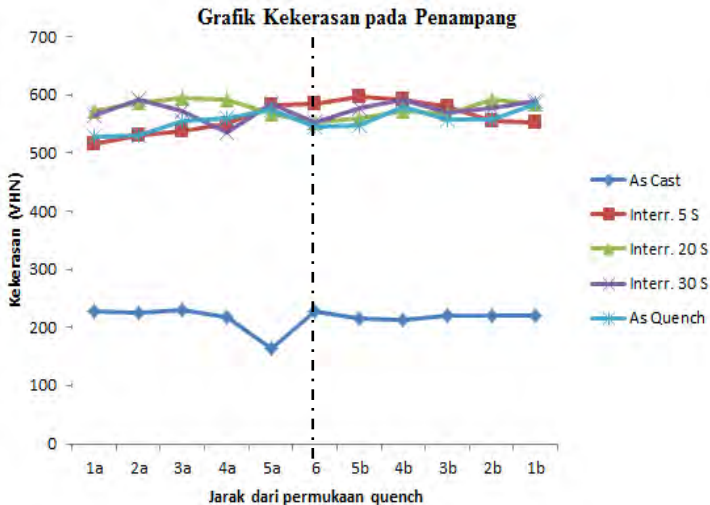
Spesimen		Jarak dari Permukaan <i>Quench</i>										
		1a	2a	3a	4a	5a	6	5b	4b	3b	2b	1b
As Cast 1	D <sub>1</sub>	0,3	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,29	0,29
	D <sub>2</sub>	0,29	0,29	0,27	0,3	0,29	0,28	0,29	0,3	0,28	0,29	0,28
	D	0,295	0,29	0,285	0,3	0,295	0,29	0,295	0,3	0,29	0,29	0,285
	VHN	213,04 2	220,452 452	228,255	206	213,04 2	220,452	213,04 2	206	220,452	220,452	228,255
As Cast 2	D <sub>1</sub>	0,29	0,29	0,28	0,29	0,3	0,29	0,3	0,3	0,29	0,3	0,3
	D <sub>2</sub>	0,29	0,3	0,3	0,3	0,29	0,29	0,3	0,29	0,3	0,3	0,3
	D	0,29	0,295	0,29	0,295	0,295	0,29	0,3	0,295	0,295	0,3	0,3
	VHN	220,452	213,042	220,452	213,042	213,042	220,452	206	213,042	213,042	206	206
As Cast 3	D <sub>1</sub>	0,27	0,28	0,28	0,28	0,29	0,28	0,28	0,29	0,29	0,28	0,29
	D <sub>2</sub>	0,27	0,27	0,27	0,28	0,28	0,27	0,29	0,29	0,28	0,28	0,28
	D	0,27	0,275	0,275	0,28	0,285	0,275	0,285	0,29	0,285	0,28	0,285
	VHN	254,321	245,157	245,157	236,48	228,255	245,157	228,255	220,452	228,255	236,48	228,255
Rerata VHN as cast		229,272	226,217	231,288	218,507	163,585	228,687	215,766	213,165	220,583	220,977	220,837
Interr. 5s (1)	D <sub>1</sub>	0,33	0,325	0,325	0,32	0,305	0,31	0,305	0,305	0,3	0,33	0,325
	D <sub>2</sub>	0,335	0,33	0,33	0,325	0,305	0,31	0,31	0,31	0,3	0,31	0,32
	D	0,3325	0,3275	0,3275	0,3225	0,305	0,31	0,3075	0,3075	0,3	0,32	0,3225
	VHN	503,092	518,571	518,571	534,776	597,904	578,772	588,221	588,221	618	543,164	534,776

Interr. 5s (2)	D <sub>1</sub>	0,315	0,32	0,315	0,31	0,305	0,295	0,3	0,305	0,315	0,31	0,315
	D <sub>2</sub>	0,32	0,315	0,31	0,29 5	0,3	0,295	0,3	0,3	0,3	0,305	0,32
	D	0,317 5	0,3175	0,3125	0,30 25	0,3025	0,295	0,3	0,3025	0,3075	0,3075	0,3175
	VHN	551,7 52	551,75 2	569,54 9	607, 827	607,82 7	639,12 7	618	607,82 7	588,22 1	588,22 1	551,75 2
Interr. 5s (3)	D <sub>1</sub>	0,335	0,325	0,33	0,33 5	0,33	0,33	0,315	0,315	0,33	0,33	0,32
	D <sub>2</sub>	0,335	0,33	0,32	0,32 5	0,31	0,315	0,3	0,305	0,315	0,315	0,305
	D	0,335	0,3275	0,325	0,33	0,32	0,3225	0,3075	0,31	0,3225	0,3225	0,3125
	VHN	495,6 11	518,57 1	526,58	510, 744	543,16 4	534,77 6	588,22 1	578,77 2	534,77 6	534,77 6	569,54 9
Rerata VHN 5 s		516,81 8	529,63 1	538,23 3	551, 116	582,96 5	584,22 5	598,14 8	591,60 7	580,33 2	555,38 7	552,02 5
Interr. 20s (1)	D <sub>1</sub>	0,31	0,305	0,305	0,30 5	0,31	0,32	0,305	0,305	0,315	0,315	0,3
	D <sub>2</sub>	0,3	0,295	0,295	0,29 5	0,3	0,305	0,305	0,305	0,305	0,315	0,305
	D	0,305	0,3	0,3	0,3	0,305	0,3125	0,3125	0,305	0,31	0,315	0,3025
	VHN	597,9 04	618	618	618	597,90 4	569,54 9	569,54 9	597,90 4	578,77 2	560,54 4	607,82 7
Interr. 20s (2)	D <sub>1</sub>	0,31	0,315	0,31	0,31 5	0,325	0,335	0,315	0,32	0,32	0,32	0,33
	D <sub>2</sub>	0,325	0,33	0,32	0,32 5	0,33	0,325	0,33	0,325	0,315	0,3	0,33
	D	0,3175	0,3225	0,315	0,32	0,3275	0,33	0,3225	0,3225	0,3175	0,31	0,33
	VHN	551,7 52	534,7 76	560,5 44	543, 164	518,57 1	510,74 4	534,77 6	534,77 6	551,75 2	578,77 2	510,74 4
Interr. 20s (3)	D <sub>1</sub>	0,295	0,29	0,29	0,3	0,3	0,3	0,3	0,305	0,315	0,29	0,3
	D <sub>2</sub>	0,33	0,315	0,315	0,3	0,315	0,32	0,32	0,31	0,31	0,3	0,29
	D	0,3125	0,3025	0,3025	0,3	0,3075	0,31	0,31	0,3075	0,3125	0,295	0,295
	VHN	569,5 49	607,8 27	607,8 27	618	588,22 1	578,77 2	578,77 2	588,22 1	569,54 9	639,12 7	639,12 7
Rerata VHN 20 s		573,06 8	586,8 68	595,4 57	593, 055	568,23 2	553,02 2	561,03 2	573,63 4	566,69 1	592,81 4	585,89 9

Interr. 30s (1)	D <sub>1</sub>	0,335	0,335	0,325	0,345	0,345	0,335	0,33	0,32	0,325	0,325	0,32
	D <sub>2</sub>	0,315	0,315	0,33	0,335	0,33	0,32	0,315	0,3	0,33	0,315	0,32
	D	0,325	0,325	0,3275	0,34	0,3375	0,3275	0,3225	0,31	0,3275	0,32	0,32
	VHN	526,58	526,58	518,57 1	481,14 2	488,29 6	518,57 1	534,77 6	578,77 2	518,57 1	543,16 4	543,16 4
Interr. 30s (2)	D <sub>1</sub>	0,32	0,31	0,305	0,32	0,3	0,325	0,31	0,32	0,325	0,325	0,315
	D <sub>2</sub>	0,32	0,3	0,305	0,33	0,28	0,32	0,31	0,3	0,31	0,3	0,295
	D	0,32	0,305	0,305	0,325	0,29	0,3225	0,31	0,31	0,3175	0,3125	0,305
	VHN	543,16 4	597,90 4	597,90 4	526,58	661,35 6	534,77 6	578,77 2	578,77 2	551,75 2	569,54 9	597,90 4
Interr. 30s (3)	D <sub>1</sub>	0,3	0,29	0,315	0,315	0,31	0,305	0,31	0,3	0,3	0,3	0,295
	D <sub>2</sub>	0,295	0,295	0,295	0,295	0,295	0,3	0,29	0,3	0,29	0,3	0,3
	D	0,2975	0,2925	0,305	0,305	0,3025	0,3025	0,3	0,3	0,295	0,3	0,2975
	VHN	628,43	650,09 9	597,90 4	597,90 4	607,82 7	607,82 7	618	618	639,12 7	618	628,43
Rerata VHN 30s		566,05 8	591,52 7	571,46	535,20 9	585,82 6	553,72 5	577,18 3	591,84 8	569,81 6	576,90 4	589,83 3
As Quench 1	D <sub>1</sub>	0,345	0,345	0,345	0,335	0,34	0,365	0,35	0,345	0,345	0,365	0,325
	D <sub>2</sub>	0,345	0,335	0,34	0,33	0,32	0,325	0,335	0,34	0,345	0,33	0,33
	D	0,345	0,34	0,3425	0,3325	0,33	0,345	0,3425	0,3425	0,345	0,3475	0,3275
	VHN	467,29 7	481,14 2	474,14 4	503,09 2	510,74 4	467,29 7	474,14 4	474,14 4	467,29 7	460,59 7	518,57 1
As Quench 2	D <sub>1</sub>	0,32	0,31	305	0,315	0,315	0,31	0,305	0,305	0,315	0,31	0,31
	D <sub>2</sub>	0,325	0,295	0,285	0,305	0,295	0,3	0,29	0,285	0,285	0,295	0,295
	D	0,3225	0,3025	152,64 3	0,31	0,305	0,305	0,2975	0,295	0,3	0,3025	0,3025
	VHN	534,77 6	607,82 7	0,0023 9	578,77 2	597,90 4	597,90 4	628,43	639,12 7	618	607,82 7	607,82 7
As Quench 3	D <sub>1</sub>	0,335	0,335	0,325	0,315	0,31	0,325	0,325	0,3	0,325	0,305	0,31
	D <sub>2</sub>	0,315	0,33	0,31	0,295	0,29	0,3	0,315	0,295	0,29	0,3	0,285
	D	0,325	0,3325	0,3175	0,305	0,3	0,3125	0,32	0,2975	0,3075	0,3025	0,2975
	VHN	526,58	503,09 2	551,75 2	597,90 4	618	569,54 9	543,16 4	628,43	588,22 1	607,82 7	628,43
Rerata VHN as quench		529,31 2	530,68 7	555,00 7	559,92 3	575,54 9	544,91 6	548,57 9	580,56 7	557,83 9	558,75 1	584,94 3

#### 4.3.2 Pembahasan Kekerasan Pada Penampang Spesimen Uji

Dari tabel 4.4 diperoleh rata-rata kekerasan dari setiap lokasi pengujian pada masing-masing spesimen *as cast*, *as quench* dan spesimen dengan variasi waktu *interrupted quenching* dan didapatkan grafik kekerasannya pada gambar berikut :



**Gambar 4. 10** Grafik pengaruh variasi waktu interrupted terhadap kekerasan penampang spesimen

Pada gambar 4.9 menunjukkan bahwa spesimen *as cast* memiliki rerata nilai kekerasan yang merata yaitu dengan rerata kekerasan 220VHN. Dibanding dengan spesimen variasi waktu *interrupted* dan spesimen *as quench* telah terjadi peningkatan kekerasan dan kedalaman pengerasan yang rata hingga bagian tengah (*center*) spesimen. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa keseluruhan spesimen dengan variasi *interrupted quenching* dan *as quench* kedalaman pengerasannya merata hingga jarak 5 mm dari permukaan *quench*.

Untuk menunjukkan pengaruh variasi waktu *interrupted* spesimen uji terhadap kekerasan penampang, dan pengaruh jarak dari permukaan *quench* terhadap kekerasan penampang, maka dilakukan pengujian dengan menggunakan *software* Anova. Pengujian anova pada laporan penelitian ini menggunakan tingkat kepercayaan atau *Convident Level* (CL) sebesar 95%. Dari hasil pengujian menggunakan *General Linear Model* ANOVA (lampiran 3) diperoleh nilai signifikan 0 %, hal tersebut dapat diartikan bahwa antar spesimen uji berpengaruh signifikan terhadap kekerasan penampang. Sedangkan pengaruh jarak dari permukaan *quench* terhadap kekerasan penampang didapatkan nilai signifikan 73 %, sehingga pengaruh jarak terhadap kekerasan spesimen tidak berpengaruh signifikan. Karena nilai signifikansi lebih dari 5% memiliki arti bahwa suatu variabel tidak berpengaruh signifikan terhadap data.

#### 4.4 Pengujian Keausan

##### 4.4.1 Data Hasil Pengujian Keausan pada Spesimen

Pengujian keausan digunakan mesin tribometer tipe *pin on disc*, dengan menentukan variabel-variabel sebagai berikut :

- Beban (F) = 6 kg
- Speed Control = 70
- Panjang lintasan disc (L) = 1000 m
- Waktu tunggu (t) = 82 menit

Setelah ditentukan variabel untuk pengujian keausan pada masing-masing spesimen maka volume spesimen yang hilang akibat keausan diperoleh dengan rumus :

$$\Delta V = \frac{\Delta m}{\rho}$$

Dimana :

$\Delta V$	=	Perubahan volume (mm <sup>3</sup> )
$\Delta m$	=	Perubahan massa (gr)
$\rho$	=	7,850 gr/cm <sup>3</sup>

Hasil perhitungan perubahan volume spesimen ujiditampilkan pada tabel 4.5 :

**Tabel 4.5** Data Hasil Pengujian keausan pada spesimen *as cast*, *as quench* dan spesimen variasi waktu *interrupted quenching*

Spesimen	Replikasi	Massa Awal (gr)	Massa Akhir (gr)	$\Delta M$ (gr)	$\Delta V$ (mm <sup>3</sup> )
As Cast	1	17,3141	17,3138	0,0003	0,03822
	2	17,3801	17,3795	0,0006	0,0764
	3	18,0231	18,0216	0,0015	0,1912
Inter. 5s	1	16,8001	16,7994	0,0007	0,0892
	2	16,3694	16,3691	0,0003	0,0382
	3	16,9323	16,9307	0,0016	2,2857
Interr. 20s	1	16,2188	16,2170	0,0018	0,2293
	2	16,7232	16,7220	0,0012	0,1527
	3	16,7471	16,7465	0,0006	0,0764
Interr. 30s	1	17,2797	17,2759	0,0038	0,4841
	2	16,4098	16,4081	0,0017	0,2166
	3	17,3446	17,3428	0,0018	0,2293
As Quench	1	17,2767	17,2748	0,0019	0,2420
	2	17,4560	17,4545	0,0015	0,1911
	3	17,4045	17,4029	0,0016	0,2038

Untuk mendapatkan laju keausan (K) pada spesimen uji digunakan rumus sebagai berikut :

$$K = \frac{\Delta V}{F \cdot L}$$

Dimana :

K	=	Laju keausan spesifik (mm <sup>3</sup> /N.m)
$\Delta V$	=	Perubahan volume (mm <sup>3</sup> )
F	=	58,86 (N)
L	=	1000 (m)

Hasil perhitungan laju keausan spesimen uji ditampilkan pada Tabel 4.6 :

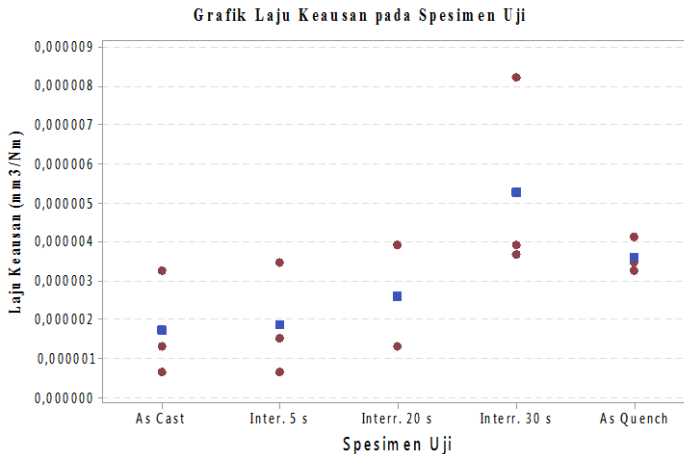


**Tabel 4.6** Laju Keausan pada spesimen *as cast*, *as quench* dan spesimen variasi waktu *interrupted quenching*

Spesimen	K (mm <sup>3</sup> /Nm)			
	Replikasi			Rerata
	1	2	3	
<b>As Cast</b>	6,49279E-07	1,29856E-06	3,24639E-06	1,73141E-06
<b>Interr. 5 s</b>	1,51498E-06	6,49279E-07	3,46282E-06	1,87569E-06
<b>Interr. 20 s</b>	3,89567E-06	2,59712E-06	1,29856E-06	2,59712E-06
<b>Interr. 30 s</b>	8,2242E-06	3,67925E-06	3,89567E-06	5,26637E-06
<b>As Quench</b>	4,1121E-06	3,24639E-06	3,46282E-06	3,60711E-06

#### 4.4.2 Pembahasan Pengujian Keausan Pada Spesimen Uji

Dari tabel 4.7 diperoleh laju keausan dari masing-masing spesimen *as cast*, *as quench* dan spesimen dengan variasi waktu *interrupted quenching* yang ditampilkan pada gambar 4.10. Pada gambar tersebut terlihat bentuk bulat dengan warna coklat yang menunjukkan laju keausan dari spesimen uji dan yang berbentuk persegi dengan warna biru menunjukkan rerata laju keausan.

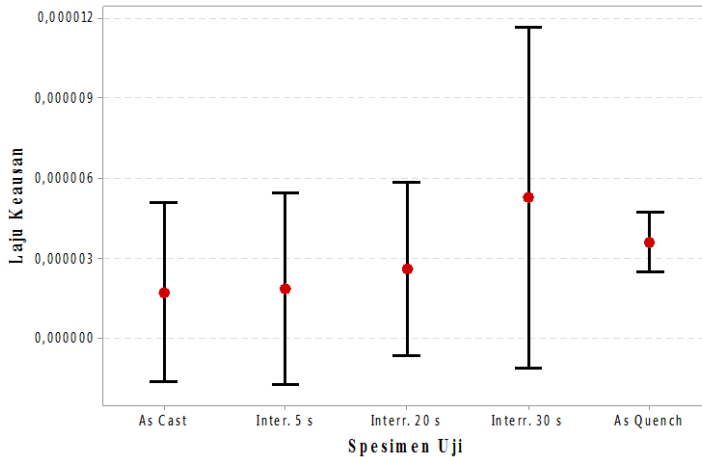


**Gambar 4. 11** Grafik pengaruh variasi waktu *interrupted* terhadap laju keausan pada spesimen

Pada gambar 4.10 menunjukkan spesimen *as cast* memiliki rerata laju keausan  $1,73141 \times 10^{-6} \text{ mm}^3/\text{Nm}$ . Dibanding spesimen dengan variasi waktu *interrupted quenching* dan spesimen *as quench* terjadi peningkatan laju keausan. Laju keausan tertinggi terdapat pada spesimen dengan waktu *interrupted* 30 detik yaitu kenaikan laju keausan 67,12 % dari spesimen *as cast*. Pada spesimen dengan waktu *interrupted* 20 detik laju keausannya meningkat dengan kenaikan laju keausannya 33,33 % dari spesimen *as cast*. Untuk spesimen dengan waktu *interrupted* 5 detik adalah spesimen yang memiliki laju keausan yang paling rendah diantara spesimen *interrupted quenching* kenaikan keausannya 7,7 % dari spesimen *as cast*. Pada spesimen *as quench* terjadi peningkatan laju keausan 52 % dari spesimen *as cast*.

Untuk menunjukkan pengaruh waktu *interrupted quenching* dari proses perlakuan panas *interrupted quenching* terhadap laju keausan, maka dilakukan pengujian Anova. Pengujian anova pada laporan penelitian ini menggunakan

program Minitab dengan menggunakan *Convident Level* (CL) 95%. Dari hasil pengujian menggunakan One-Way ANOVA diperoleh grafik rerata laju keausan pada gambar 4.11 :







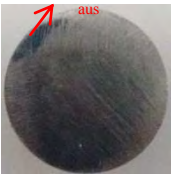










**Gambar 4. 12** Grafik rerata laju keausan menggunakan aplikasi anova

Pada Gambar 4.6 menunjukkan bahwa *mean* laju keausan tertinggi (titik merah) sebesar 5,26637E-06 mm<sup>3</sup>/Nm yaitu pada spesimen dengan waktu *interrupted* 30 detik. Sedangkan *mean* laju keausan terendah pada spesimen *as cast* yaitu sebesar 1,73141E-06 mm<sup>3</sup>/Nm. Dari hasil pengujian Anova (lampiran 4) didapatkan nilai signifikan 10,1%, hal tersebut dapat diartikan bahwa antar spesimen *as cast*, spesimen dengan variasi waktu *interrupted quenching* dan spesimen *as quench* berpengaruh signifikan terhadap laju keausan. Karena nilai signifikansi lebih dari 5% memiliki arti bahwa suatu variabel memiliki pengaruh yang tidak berpengaruh signifikan terhadap data.

#### 4.4.3 Pola Keausan pada Spesimen Uji

Setelah dilakukan pengujian keausan menggunakan mesin tribometer tipe *pin on disc*, didapatkan pola keausan yang terbentuk pada permukaan pin untuk masing-masing spesimen

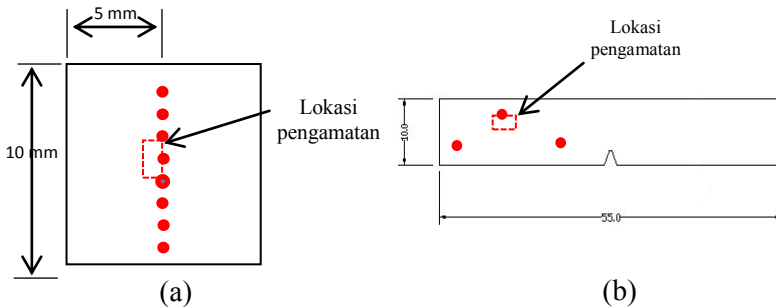
dengan variasi waktu *interrupted quenching* yang dapat dilihat pada Tabel 4.7 :

Spesimen	Replikasi			Keterangan
	1	2	3	
As Cast				<p>Hasil dari uji keausan padakeseluruhan spesimen menunjukkan bahwa daerah yang terang adalah yang mengalami keausan dan relatif terkonsentrasi pada tepi spesimen.</p>
Interr. 5s				
Interr. 20s				
Interr. 30s				
As Quench				

Dari hasil pengujian keausan yang terdapat pada tabel 4.7 diperoleh bahwa keseluruhan spesimen aus pada daerah tepi spesimen. Hal tersebut disebabkan karena gaya penekanan yang tidak sama dan tumpuan yang tidak homogen. Sehingga sesuai dengan standar ASTM G99, jika permukaan material yang diuji tiak aus seluruhnya, maka hasil pengujian disarankan untuk tidak digunakan atau hasil pengujian kurang *valid* [13] dan mesin tribometer tipe *pin on disc* milik laboratorium Design teknik mesin ITS perlu untuk dievaluasi lebih lanjut.

#### 4.5 Pengamatan Struktur Mikro

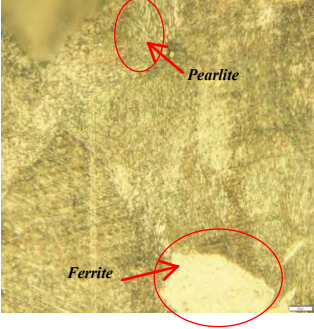
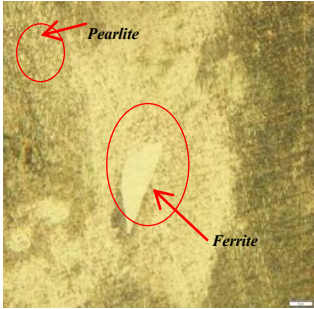

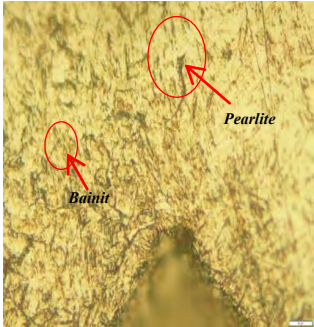
Setelah dilakukan pengujian kekerasan pada permukaan dan penampang spesimen, didapatkan hasil kekerasan yang merata baik pada permukaan maupun penampang. Sehingga pada pengamatan struktur mikro diambil lokasi pengamatan secara acak dan berada pada daerah sekitar indentasi pengujian kekerasan. Pengamatan struktur mikro dilakukan dengan perbesaran 1000 X dan di etsa menggunakan 5 % picral. Lokasi pengamatan struktur mikro pada penampang dan permukaan terdapat pada gambar 4.12 :

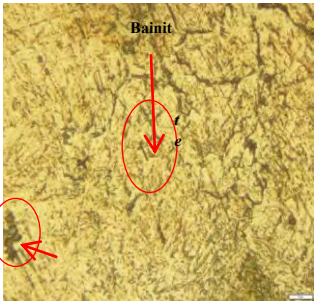
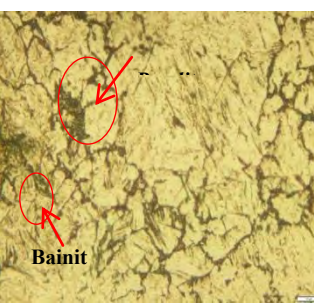

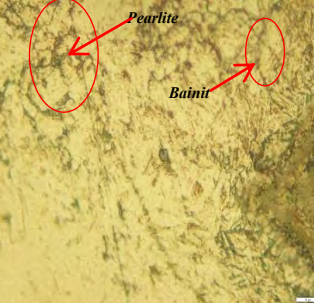
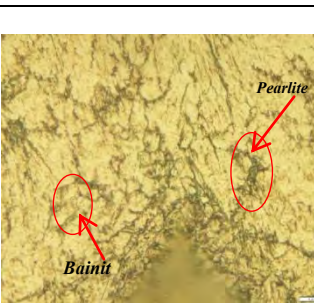
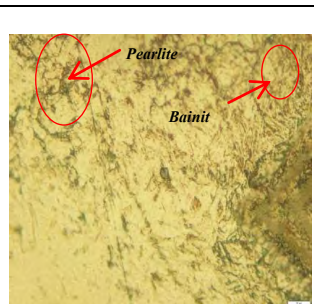


**Gambar 4. 13** Lokasi pengamatan struktur mikro  
(a) penampang ; (b) permukaan

Gambar dan keterangan hasil pengamatan struktur mikro pada sisi penampang dan permukaan terlihat pada tabel 4.7

**Tabel 4.7** Pengamatan struktur mikro pada penampang dan permukaan spesimen uji

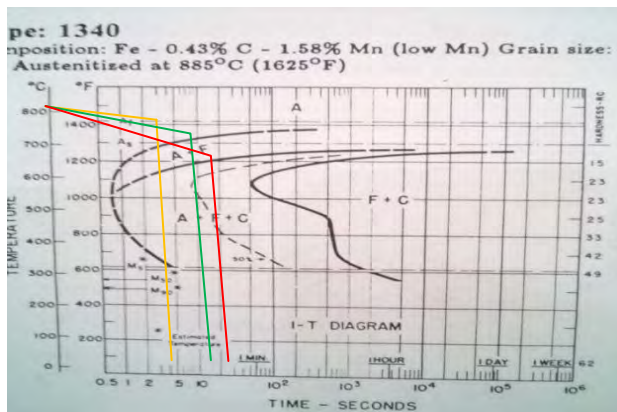
Spesi men	Gambar Struktur Mikro (1000X)		Keterangan
	Penampang	Permukaan	
<i>As Cast</i>			<p>Pada gambar disamping merupakan gambar struktur mikro spesimen <i>as cast</i>. Pada sisi penampang dan permukaan terbentuk fasa <i>ferrite</i> (butiran berwarna putih) dan <i>pearlite</i> dengan jarak lamel yang lebar.</p>
Interr . 5 s			<p>Pada gambar disamping merupakan gambar struktur mikro spesimen dengan waktu interr. 5s. Pada sisi penampang terbentuk <i>pearlite</i> dengan warna gelap. Sedangkan pada permukaan, masih terdapat <i>pearlite</i> dan bainit yang berwarna gelap dan berserabut.</p>

Interr . 20 s			<p>Pada gambar disamping merupakan gambar struktur mikro spesimen dengan waktu interr. 20 s.</p> <p>Pada sisi penampang dan permukaan terlihat fasa bainit lebih mendominasi dan terdapat <i>pearlite</i> yang berwarna gelap.</p>
Interr . 30 s			<p>Pada gambar disamping merupakan gambar struktur mikro spesimen <i>as quench</i>. Pada sisi penampang dan permukaan terbentuk <i>pearlite</i> dengan warna yang gelap dan bainit yang berwarna gelap dan berserabut.</p>
As Quenc h			<p>Pada gambar disamping merupakan gambar struktur mikro spesimen <i>as quench</i>. Pada sisi penampang dan permukaan terbentuk <i>pearlite</i> yang berwarna gelap dan bainit bawah yang berwarna gelap dan berserabut.</p>



#### 4.6 Hubungan Waktu *Interrupted Quenching* Terhadap Pengujian *Impact*, Kekerasan, Keausan dan Struktur Mikro

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa spesimen dengan variasi waktu *interrupted* 20 detik adalah spesimen yang paling tepat atau optimum untuk proses *interrupted quenching friction wedge* AISI 1340. Hal tersebut dapat dibuktikan pada hasil pengujian-pengujian yang dilakukan. Pada hasil pengujian *impact*, didapatkan nilai *impact strength* tertinggi dengan kenaikan 24,97 % dari spesimen *as cast*. Selain itu, spesimen ini memiliki peningkatan kekerasan yang paling tinggi dengan kenaikan sebesar 65,22 % dan kedalaman pengerasan yang merata hingga bagian *centre*.



**Gambar 4. 14** I-T diagram baja AISI 1340 dengan waktu *interrupted quenching*

Dari pengujian yang dilakukan pada spesimen dengan waktu *interrupted* 20 detik memiliki hasil yang paling sesuai, hal tersebut disebabkan pada saat pendinginan melalui range austenit metastabil, proses nukleasi berjalan lambat. Pada saat proses nukleasi berjalan lambat, dilakukan pendinginan lambat (ditahan di udara sesaat) dan kemudian dilakukan pendinginan cepat.



Sehingga, inti akan tumbuh perlahan yang disebabkan saat proses difusi, jarak inti atom menuju batas butir memerlukan jarak dan waktu yang lebih lama sehingga butir austenit menjadi lebih besar [3]. Untuk meningkatkan hardenability suatu baja dapat dilakukan dengan mengkasarkan butir austenit [14]. Hal tersebut dapat dilihat pada I-T diagram baja AISI 1340 (Gambar 4.13), dengan asumsi garis berwarna kuning adalah saat dilakukan *interrupted* 5 detik, garis hijau dengan waktu *interrupted* 20 detik dan garis merah waktu *interrupted* 30 detik.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] W. F. Smith, “*Structure and Properties of Engineering Alloys*, 2 ed”.: McGraw Hill, 1993.
- [2] Sinha,A.K. 1989. “ *Ferrous Physical Metallurgy*”. London: Butterworths
- [3] Thelning, K.E., “*Steel and Its Heat Treatmmnt*, 2<sup>nd</sup> Ed”, Butterworths, London, 1984.
- [4] S. H. Avner, “*Introduction to Physical Metallurgy*, 2 ed”.: McGraw Hill, 1974.
- [5] William D. Callister, Jr., “*Material Scince and Engineering*, 7th ed.: John Wiley & Sons, Inc., United States of America, 2007.
- [6] Ir. Wahid Suherman, “Pengetahuan Bahan,” Surabaya.
- [7] ASM. 2004. *ASM handbook vol 1 Properties and Selections Irons*. ASM International
- [8] Mengenal Istilah Bogie Kereta Api, 2011. PT. Industri Kereta Api, [www.inka.co.id](http://www.inka.co.id)
- [9] Bhushan, Bharat, *Principles and Applications of Tribology*, John Wiley & Sons Inc., 1999
- [10] <http://digilib.unila.ac.id/31/10/BAB%20II.pdf>
- [11] <http://the-contact-patch.com/book/rail/r1114-railway-suspension>
- [12] <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/Bab%201%20Kekerasan%20edisi%202009.pdf>.
- [13] ASTM G 99
- [14] Donald S. Clark, Wilbur R. Varney.1962.“*Physical Metalurgy For Engineers*”.

*(Halaman Ini Sengaja Dikosogkan)*

## BAB V

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat berdasarkan analisa data dan pembahasan pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material dengan variasi waktu *interrupted quenching* 5 detik memiliki kenaikan *impact strength* sebesar 24,41 % dan mengalami patah getas. Nilai kekerasan pada permukaan meningkat 62,16 % dan kedalaman pengerasan merata hingga bagian *centre*. Laju keausannya meningkat 7,7 %, dengan fasa yang terbentuk adalah *fine pearlite* dan bainit bawah (*lower bainite*).
2. Material dengan variasi waktu *interrupted quenching* 20 detik memiliki kenaikan *impact strength* sebesar 24,97 % dan mengalami patah getas. Nilai kekerasan pada permukaan meningkat 65,22 % dan kedalaman pengerasan merata hingga bagian *centre*. Laju keausannya meningkat 33,33 %, dengan fasa yang terbentuk adalah *fine pearlite* dan bainit bawah (*lower bainite*).
3. Material dengan variasi waktu *interrupted quenching* 30 detik memiliki kenaikan *impact strength* sebesar 4,18 % dan mengalami patah getas. Nilai kekerasan pada permukaan meningkat 64,07 % dan kedalaman pengerasan merata hingga bagian *centre*. Laju keausannya meningkat 67,12 %, dengan fasa yang terbentuk adalah *coarse pearlite* dan bainit atas pada penampang, *fine pearlite* dan bainit bawah terbentuk pada permukaan.
4. Material *as quench* memiliki kenaikan *impact strength* sebesar 15,73 % dan mengalami patah getas, nilai kekerasan pada permukaan meningkat 60,85 % dan kedalaman pengerasan merata hingga bagian *centre*, laju keausannya meningkat 33,33 %, dengan fasa yang terbentuk adalah *fine pearlite* dan bainit bawah (*lower bainite*).

5. Variasi waktu *interrupted quenching* tidak berpengaruh signifikan terhadap *impact strength* spesimen. *Mean impact* tertinggi pada waktu *interrupted* 20 detik sebesar 0,09172 Kpm/mm<sup>2</sup>, sedangkan *mean impact strength* terendah sebesar 0,06881 Kpm/mm<sup>2</sup> pada spesimen *as cast*.
6. Variasi spesimen berpengaruh signifikan terhadap kekerasan permukaan dengan nilai signifikan level 0 %. Sedangkan lokasi titik tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan permukaan dengan nilai signifikan 48 %.
7. Variasi spesimen berpengaruh signifikan terhadap kekerasan penampang dengan nilai signifikan level 0 %. Sedangkan jarak dari permukaan quench tidak berpengaruh signifikan terhadap kekerasan penampang dengan nilai signifikan 73 %.
8. Variasi waktu *interrupted quenching* tidak berpengaruh signifikan terhadap laju keausan spesimen. *Mean laju keausan* tertinggi pada waktu *interrupted* 30 detik sebesar 5,26637E-06 mm<sup>3</sup>/N.m, sedangkan *mean laju keausan* terendah sebesar 1,73141E-06 mm<sup>3</sup>/N.m pada spesimen *as cast*.

## 5.2 Saran

Saran-saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut :

1. Material pengujian sebaiknya dilakukan dengan dimensi yang lebih besar untuk mengetahui kedalaman pengerasan.
2. Saat melakukan proses *interrupted quenching* (ditahan di udara selama beberapa detik) sebaiknya disertakan alat pengukur temperatur untuk mengetahui penurunan temperaturnya.

## BIOGRAFI PENULIS



Neva Dwi Prastiwi – lahir 25 April 1992 di Mojokerto adalah anak ragil dari pasangan Darmaji dan Tutik Pristiwati. Penulis mulai menempuh pendidikan di TK PBS 1 Mojokerto (1996-1998), SDN Japan Mojokerto (1998-2004), SMP Negeri 1 Sooko Mojokerto (2004-2007), SMAN 1 Gedeg Mojokerto (2007-2010), D3 Teknik Mesin Produksi ITS Surabaya (2010-2013), dan kemudian melanjutkan ke S1 Teknik Mesin Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya melalui seleksi ujian masuk Lintas Jalur pada tahun 2013. Di jurusan ini, penulis memilih bidang studi metalurgi. Keinginan untuk mengamalkan ilmu yang diperoleh selama kuliah mendorong penulis untuk mengambil topik tugas akhir “Studi Eksperimen Proses *Interrupted Quenching* pada *Friction Wedge* Dengan Variasi Waktu *Interrupted Quenching*” yang telah diselesaikan pada tanggal 8 Juli 2015.